

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 4 月 1 日 (01.04.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/027493 A1

(51) 国際特許分類: G02B 27/42, 6/28, 5/18, G01J 3/18

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/012048

(22) 国際出願日: 2003 年 9 月 22 日 (22.09.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2002-275218 2002 年 9 月 20 日 (20.09.2002) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本板硝子株式会社 (NIPPON SHEET GLASS COMPANY, LIMITED) [JP/JP]; 〒541-8559 大阪府 大阪市 中央区 北浜四丁目7番28号 Osaka (JP). 独立行政法人産業

技術総合研究所 (NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒100-8921 東京都 千代田区 霞ヶ関1丁目3-1 Tokyo (JP).

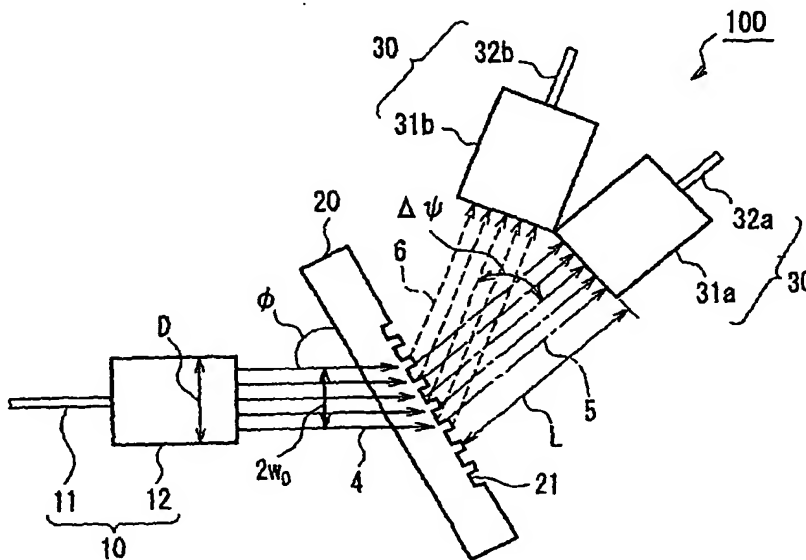
(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 西井 準治 (NISHII, Junji) [JP/JP]; 〒563-8577 大阪府 池田市 緑丘1丁目8番31号 独立行政法人産業技術総合研究所関西センター内 Osaka (JP). 中澤 達洋 (NAKAZAWA, Tatsuhiko) [JP/JP]; 〒563-8577 大阪府 池田市 緑丘1丁目8番31号 独立行政法人産業技術総合研究所関西センター内 Osaka (JP). 橘高 重雄 (KITAKA, Shigeo) [JP/JP]; 〒541-8559 大阪府 大阪市 中央区 北浜四丁目7番28号 日本板硝子株式会社内 Osaka (JP). 常友 啓司 (TSUNETOMO, Keiji) [JP/JP]; 〒541-8559 大阪府 大

[続葉有]

(54) Title: SPECTROMETER USING DIFFRACTION LATTICE

(54) 発明の名称: 回折格子を用いた分光装置



(57) Abstract: A spectrometer comprising an incident-side light waveguide for emitting a light flux containing a plurality of wavelength components and approximated by a Gaussian beam, a light incident unit installed on the emitting side of the incident-side light waveguide and having a collimate lens that converts a Gaussian beam-approximated light flux emitted from the incident-side light waveguide into almost parallel light flux, and a light emitting unit having a diffraction lattice that receives a light flux converted into an almost parallel light flux by the collimate lens, spectrally separates a light flux by emitting light fluxes different in emitting direction depending on a wavelength, and has grooves in the surface thereof, and a plurality of condensing lenses that condense respective light fluxes separated by the diffraction lattice.

(57) 要約: 複数の波長成分を含んでいてガウシアンビームで近似される光束を出射する入射側光導波路と、入射側光導波路の出射側に設置され、入射側光導波路から出

[続葉有]



阪市 中央区北浜四丁目7番28号 日本板硝子株式会社内 Osaka (JP). 大家 和晃 (OYA, Kazuaki) [JP/JP]; 〒541-8559 大阪府 大阪市 中央区北浜四丁目7番28号 日本板硝子株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人池内・佐藤アンドパートナーズ (IKEUCHI SATO & PARTNER PATENT ATTORNEYS); 〒530-6026 大阪府 大阪市 北区天満橋1丁目8番30号OAPタワー26階 Osaka (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,

SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

射されたガウシアンビームで近似される光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに出射方向の異なる光束を出射することで光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、回折格子によって分光された各光束をそれぞれ集光する、複数の集光レンズを有する光出射部とを備えている。

明 細 書

回折格子を用いた分光装置

技術分野

本発明は、波長の異なる光を分離する、回折格子を用いた分光装置に
5 関する。

背景技術

近年、インターネットの急速な普及により、光ファイバ通信網の情報
伝送容量の増大が強く求められており、その手段として波長多重（WD
10 M）方式の開発が急速に進められている。波長多重方式の光通信におい
ては、わずかな波長差の各光が個別の情報を伝達することから、波長選
択性の良い光分波器、フィルタ、アイソレータといった光学機能素子を
用いる必要がある。これら機能素子においては、量産性、小型化、集積
化、安定性などが強く求められている。

15 分光装置は、波長多重光通信のように人為的に複数の波長が多重化さ
れた光信号を分波・検出するために用いられる。また、分光装置は、分
光測定のように被測定光のスペクトル解析等にも用いられる。あるいは
複数波長の光源を利用する光ディスクシステムなどにおいても分光装置
が用いられる。この分光装置には、プリズム、波長フィルタまたは回折
20 格子等の分光素子が必要である。

特に回折格子は代表的な分光素子である。回折格子は、例えば、石英
やシリコン基板などの表面に周期的なブレース状の微細凹凸構造を形成
することで作製される。その周期的凹凸構造によって発生する回折光は
互いに干渉し、ある特定波長の光が特定の方向に出射される。回折格子

は、このような特性を有するため、分光素子として利用されている。このような分光素子は、例えば、特開平 10-300976 号公報に開示されている。

5 回折格子による波長分解力は、回折光の次数と格子数の積に比例することが一般的に知られている。実際の分光素子において有効であるのは、光束が通過する範囲の回折格子の周期数である。つまり、回折格子の分解力を向上させるためには光束の直径を大きくする必要がある。光束の直径を大きくするためには、それに伴って光学系に必要な各部品も大きくしなければならない。

10 しかし、回折格子やレンズ等の光学部品を大きくすることはコストの上昇につながる。また、光束が太くなりレンズ径が大きくなると、収差が増大する傾向があるため、収差補正の手段を設ける必要がある。そのため、分光装置が大型化してしまうという問題もある。

15 分光を目的とする回折格子としては、断面形状が三角形のブレース格子が使用されることが多い。ブレース格子を有する回折格子には、反射型と透過型とがある。図 13A はブレース格子を有する透過型回折格子 103a の構成を示す断面図であり、図 13B はブレース格子を有する反射型回折格子 103b の構成を示す断面図である。図 13A に示すように透過型回折格子 103a は、溝 104a が形成された面の反対面から複数波長の光 107a が入射すると、溝 104a が形成された面から
20 出射方向が互いに異なることで分光された複数の回折光 108a および 109a が出射される。

また、図 13B に示すように反射型回折格子 103b は、溝 104b が形成された面から複数波長の光 107b が入射すると、反射して、溝
25 104b が形成された面から反射方向が互いに異なることで分光された複数の回折光 108b および 109b が出射される。反射型回折格子 1

03bは透過型回折格子103aよりも高い回折効率が得られるので、通常は反射型回折格子103bが用いられている。しかし、反射型回折格子103bは、表面を反射面に加工する必要がある。

透過型回折格子103aおよび反射型回折格子103bのいずれの方式であっても、格子周期と光の波長が接近してくると、偏光方向（TE偏光またはTM偏光）による効率の差などが生じる。そのため、高い回折効率を得るためにはブレース形状などの精密な設計と高度な加工技術が必要になる。

10 発明の開示

本発明は上記問題点に鑑みなされたものであって、波長分解力が高く、かつ小型化が可能な分光装置を提供することを目的とする。

本発明は、複数の波長成分を含んでいてガウシアンビームで近似される光束を出射する入射側光導波路と、該入射側光導波路の出射側に設置され、前記入射側光導波路から出射された前記ガウシアンビームで近似される光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに射出方向の異なる光束を射出することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、前記回折格子によって分光された各光束をそれぞれ集光する、複数の集光レンズを有する光射出部とを備えている。また、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの有効径を d とし、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの焦点距離を f とし、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの物理的外径を D とし、前記回折格子と前記各集光レンズとの間隔を L とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記入射側光導波路の開口数を NA とし、前記溝に対して垂

直な方向に沿った前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿った前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、前記各波長 λ_1 および λ_2 の前記隣接入射光の平均波長を λ_0 とし、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ (ラジアン) とした場合に、以下の式を満たすことを特徴とする。

なお、平均波長 λ_0 は、

$$\lambda_0 = (\lambda_1 + \lambda_2) / 2 \text{ で表される。}$$

$$d \geq a$$

$$10 \quad g_v \geq a / \cos \phi$$

$$g_p \geq a$$

$$L \geq D / \Delta\psi$$

(ただし、 a は、 $9\lambda_0 / (\pi\Delta\psi)$ および $3f \cdot NA$ のうちいずれか大きい値とする)

- 15 また、本発明の他の回折格子を用いた分光装置は、一様な光強度をもつ面光源と、該面光源から出射された複数の波長成分を有する光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに射出方向の異なる光束を射出することで前記光束を分光する、表面
- 20 に溝を有する回折格子と、前記回折格子によって分光された各光束をそれぞれ集光する複数の集光レンズを有する光出射部とを備えている。また、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの有効径を d とし、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの焦点距離を f とし、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの物理的外径を D とし、前記回折
- 25 格子と前記各集光レンズとの間隔を L とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記面

光源の半径を w_1 とし、前記面光源の開口数を NA とし、前記溝に対して垂直な方向に沿った前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿った前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、

5 前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ （ラジアン）とした場合に、以下の式を満たすことを特徴とする。

$$d \geq 2 f \cdot NA$$

$$f \geq 2 w_1 / \Delta\psi$$

10 $g_v \geq 2 f \cdot NA / \cos \phi$

$$g_p \geq 2 f \cdot NA$$

$$L \geq D / \Delta\psi$$

また、本発明の他の回折格子を用いた分光装置は、複数の波長成分を含んでいてガウシアンビームで近似される光束を出射する入射側光導波

15 路と、該入射側光導波路の出射側に設置され、前記入射側光導波路から出射された前記ガウシアンビームで近似される光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに出射方向の異なる光束を出射することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回

20 折格子と、前記回折格子によって分光された各光束を集光する、単一の集光レンズと、該集光レンズによって集光された各光束がそれぞれ伝搬する、複数の出射側光導波路とを有する光出射部とを備えている。また、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの有効径を d とし、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの焦点距離を f とし、前記光束が

25 前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記入射側光導波路の開口数を NA とし、隣接する前記出射側

光導波路同士の間隔を s とし、前記溝に対して垂直な方向に沿った前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿った前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、前記波長 λ_1 および λ_2 の前記隣接入射光の平均波長を λ_0 とし、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の、前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ (ラジアン) とした場合に、以下の式を満たすことを特徴とする。なお、平均波長 λ_0 は、

$$\lambda_0 = (\lambda_1 + \lambda_2) / 2 \text{ で表される。}$$

$$d \geq a$$

$$10 \quad g_v \geq a / \cos \phi$$

$$g_p \geq a$$

$$s = f \cdot \Delta\psi$$

(ただし、 a は、 $9\lambda_0 / (\pi \Delta\psi)$ および $3f \cdot NA$ のうちいずれか大きい値とする)

15 また、本発明の他の回折格子を用いた分光装置は、一様な光強度をもつ面光源と、該面光源から出射される複数の波長成分を有する光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに

20 出射方向の異なる光束を出射することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、前記回折格子によって分光された各光束を集光する、単一の集光レンズと、該集光レンズによって集光された各光束がそれぞれ伝搬する、複数の出射側光導波路とを有する光出射部とを備えている。また、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの有効径を d とし、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの焦点距離を f

25 とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記面光源の半径を w_1 とし、前記面光源の

開口数を NA とし、隣接する前記出射側光導波路同士の間隔を s とし、前記溝に対して垂直な方向に沿って前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿って前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の、前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ (ラジアン) とした場合に、以下の式を満たすことを特徴とする。

$$d \geq 2 f \cdot NA$$

$$f \geq 2 w_1 / \Delta\psi$$

$$10 \quad g_v \geq 2 f \cdot NA / \cos\phi$$

$$g_p \geq 2 f \cdot NA$$

$$s = f \cdot \Delta\psi$$

また、本発明の他の回折格子を用いた分光装置は、複数の波長成分を含んでいてガウシアンビームで近似される光束を出射する入射側光導波路と、該入射側光導波路の出射側に設置され、前記入射側光導波路から出射された前記ガウシアンビームで近似される光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに射出方向の異なる光束を出射することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、前記回折格子によって分光された各光束をそれぞれ集光する、複数の集光レンズと該集光レンズから出射される光が入射する出射側光導波路とを有する光出射部とを備え、前記コリメートレンズの有効径を d および前記集光レンズの有効径を d' とし、前記コリメートレンズの焦点距離を f および前記集光レンズの焦点距離を f' とし、前記コリメートレンズの物理的外径を D および前記集光レンズの物理的外径を D' とし、前記回折格子と前記各集光レンズとの間隔を L とし、前記光束が

前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記入射側光導波路の開口数を NA および前記出射側導波路の開口数を NA' とし、前記溝に対して垂直な方向に沿った前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿った前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、前記各波長 λ_1 および λ_2 の前記隣接入射光の平均波長を λ_0 とし、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士、前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ (ラジアン) とした場合に、以下の式を満たすことを特徴とする。

$$\begin{aligned} 10 \quad & d \geq a \\ & d' \geq a \\ & g_v \geq a / \cos \phi \\ & g_p \geq a \\ & f' = f (NA / NA') \end{aligned}$$

$$15 \quad L \geq D' / \Delta\psi$$

(ただし、 a は、 $9\lambda_0 / (\pi\Delta\psi)$ および $3f \cdot NA$ のうちいずれか大きい値とする)

また、本発明の他の回折格子を用いた分光装置は、一様な光強度をもつ面光源と、該面光源から出射された複数の波長成分を有する光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに射出方向の異なる光束を射出することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、前記回折格子によって分光された各光束をそれぞれ集光する複数の集光レンズと該集光レンズから射出される光が入射する出射側光導波路とを有する光射出部とを備え、前記コリメートレンズの有効径を d および前記集光レンズの有効径を d' とし、前記コリ

- メートレンズの焦点距離を f および前記集光レンズの焦点距離を f' とし、前記コリメートレンズの物理的外径を D および前記集光レンズの物理的外径を D' とし、前記回折格子と前記各集光レンズとの間隔を L とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記
- 5 光束の入射角を ϕ とし、前記面光源の半径を w_1 とし、前記面光源の開口数を NA および前記出射側導波路の開口数を NA' とし、前記溝に対して垂直な方向に沿った前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿った前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、
- 10 前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の、前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ (ラジアン) とした場合に、以下の式を満たすことを特徴とする。

$$d \geq 2 f \cdot NA$$

$$d' \geq 2 f' \cdot NA'$$

15 $f \geq 2 w_1 / \Delta\psi$

$$g_v \geq 2 f \cdot NA / \cos \phi$$

$$g_p \geq 2 f \cdot NA$$

$$f' = f (NA / NA')$$

$$L \geq D' / \Delta\psi$$

- 20 また、本発明の他の回折格子を用いた分光装置は、複数の波長成分を含んでいてガウシアンビームで近似される光束を出射する入射側光導波路と、該入射側光導波路の出射側に設置され、前記入射側光導波路から出射された前記ガウシアンビームで近似される光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、前記コリメートレンズ
- 25 により略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに射出方向の異なる光束を出射することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回

- 折格子と、前記回折格子によって分光された各光束を集光する、単一の集光レンズと、該集光レンズによって集光された各光束がそれぞれ伝搬する、複数の出射側光導波路とを有する光出射部とを備え、前記コリメートレンズの有効径を d および前記集光レンズの有効径を d' とし、前記コリメートレンズの焦点距離を f および前記集光レンズの焦点距離を f' とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記入射側光導波路の開口数を NA および前記出射側導波路の開口数を NA' とし、隣接する前記出射側光導波路同士の間隔を s とし、前記溝に対して垂直な方向に沿った前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿った前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、前記波長 λ_1 および λ_2 の前記隣接入射光の平均波長を λ_0 とし、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の、前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ (ラジアン) とした場合に、以下の式を満たすことを特徴とする。

$$d \geq a$$

$$d' \geq a$$

$$g_v \geq a / \cos \phi$$

$$g_p \geq a$$

$$f' = f (NA / NA')$$

$$s = f' \cdot \Delta\psi$$

(ただし、 a は、 $9\lambda_0 / (\pi\Delta\psi)$ および $3f \cdot NA$ のうちいずれか大きい値とする)

- また、本発明の他の回折格子を用いた分光装置は、一様な光強度をもつ面光源と、該面光源から出射される複数の波長成分を有する光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、前記コ

- リメートルレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに射出方向の異なる光束を射出することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、前記回折格子によって分光された各光束を集光する、単一の集光レンズと、該集光レンズによって集光された各光束
- 5 がそれぞれ伝搬する、複数の射出側光導波路とを有する光射出部とを備え、前記コリメートルレンズの有効径を d および前記集光レンズの有効径を d' とし、前記コリメートルレンズの焦点距離を f および前記集光レンズの焦点距離を f' とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記面光源の半径を w_1
- 10 とし、前記面光源の開口数を NA および前記射出側導波路の開口数を NA' とし、隣接する前記射出側光導波路同士の間隔を s とし、前記溝に対して垂直な方向に沿って前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿って前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 と
- 15 し、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の、前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ (ラジアン) とした場合に、以下の式を満たすことを特徴とする。

$$d \geq 2 f \cdot NA$$

$$d' \geq 2 f' \cdot NA'$$

20 $f \geq 2 w_1 / \Delta\psi$

$$f' = f (NA / NA')$$

$$g_v \geq 2 f \cdot NA / \cos \phi$$

$$g_p \geq 2 f \cdot NA$$

$$s = f' \cdot \Delta\psi$$

25

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の実施の形態 1 に係る回折格子を用いた分光装置の構成を示す模式図である。

図 2 は、 $\Delta\psi \geq 3\theta_0$ である場合の光束の関係を示す模式図である。

図 3 は、 $\Delta\psi = 2\theta_0$ である場合の光束の関係を示す模式図である。

5 図 4 は、本発明の実施の形態 2 に係る回折格子を用いた分光装置の構成を示す模式図である。

図 5 は、本発明の実施の形態 3 に係る回折格子を用いた分光装置の構成を示す模式図である。

10 図 6 A は、断面形状が矩形状である回折格子の構成を示す断面図である。

図 6 B は、図 6 A の回折格子の拡大図である。

図 7 は、入射する光束の波長に対する回折効率の計算結果を示すグラフである。

15 図 8 は、入射する光束の波長に対する PDL の計算結果を示すグラフである。

図 9 は、2次元フォトリソニック結晶構造の回折格子の構成を示す断面図である。

図 10 A は、回折格子の深溝格子の形成方法を示す工程図である。

図 10 B は、回折格子の深溝格子の形成方法を示す工程図である。

20 図 10 C は、回折格子の深溝格子の形成方法を示す工程図である。

図 10 D は、回折格子の深溝格子の形成方法を示す工程図である。

図 11 は、実施例 1 の回折格子を用いた分光装置の構成を示す模式図である。

図 12 は、SEMにより撮影した回折格子である。

25 図 13 A は、ブレイズ格子を有する従来の透過型回折格子の構成を示す断面図である。

図 1 3 B は、ブレース格子を有する従来の反射型回折格子の構成を示す断面図である。

発明を実施するための最良の形態

- 5 本実施の形態の回折格子を用いた分光装置は、単一モード光ファイバからの出射光などのガウシアンビームとみなせる光束を回折格子に入射し、回折格子によって分光された光束をそれぞれ別個の集光レンズで集光する構成の分光装置で、その分離すべき隣接波長と、それによる回折格子の分解力が定まっているとき、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能である上、小型化が可能である。

- 15 また、本実施の形態の他の回折格子を用いた分光装置は、多モード光ファイバ端面など点光源の集合した面光源と見なせる光源からの出射光束を回折格子に入射し、回折格子によって分光された光束をそれぞれ別個の集光レンズで集光する構成の分光装置で、その分離すべき隣接波長と、それによる回折格子の分解力が決まっているとき、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能である上、小型化が可能である。

- 20 また、本実施の形態の他の回折格子を用いた分光装置は、単一モード光ファイバからの出射光などガウシアンビームと見なせる光束を回折格子に入射し、回折格子によって分光された光束を共通の集光レンズで集光する構成の分光装置で、その分離すべき隣接波長と、それによる回折格子の分解力が定まっているとき、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能である上、小型化が可能である。

- 25 また、本実施の形態の他の回折格子を用いた分光装置は、多モード光ファイバ端面など点光源の集合した面光源と見なせる光源からの出射光束を回折格子に入射し、回折格子によって分光された光束を共通の集光レンズで集光する構成の分光装置で、その分離すべき隣接波長と、それ

による回折格子の分解力が定まっているとき、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能である上、小型化が可能である。

また、本実施の形態の他の回折格子を用いた分光装置は、コリメートレンズと集光レンズとが異なるものであって、単一モード光ファイバからの出射光などのガウシアンビームとみなせる光束を回折格子に入射し、回折格子によって分光された光束をそれぞれ別個の集光レンズで集光する構成の分光装置で、その分離すべき隣接波長と、それによる回折格子の分解力が定まっているとき、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能である上、小型化が可能である。

- 10 また、本実施の形態の他の回折格子を用いた分光装置は、コリメートレンズと集光レンズとが異なるものであって、多モード光ファイバ端面など点光源の集合した面光源と見なせる光源からの出射光束を回折格子に入射し、回折格子によって分光された光束をそれぞれ別個の集光レンズで集光する構成の分光装置で、その分離すべき隣接波長と、それによる回折格子の分解力が決まっているとき、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能である上、小型化が可能である。

- 20 また、本実施の形態の他の回折格子を用いた分光装置は、コリメートレンズと集光レンズとが異なるものであって、単一モード光ファイバからの出射光などガウシアンビームと見なせる光束を回折格子に入射し、回折格子によって分光された光束を共通の集光レンズで集光する構成の分光装置で、その分離すべき隣接波長と、それによる回折格子の分解力が定まっているとき、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能である上、小型化が可能である。

- 25 また、本実施の形態の他の回折格子を用いた分光装置は、コリメートレンズと集光レンズとが異なるものであって、多モード光ファイバ端面など点光源の集合した面光源と見なせる光源からの出射光束を回折格子

に入射し、回折格子によって分光された光束を共通の集光レンズで集光する構成の分光装置で、その分離すべき隣接波長と、それによる回折格子の分解力が定まっているとき、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能である上、小型化が可能である。

5 また、好ましくは、前記回折格子の、光束が入射される面は、略矩形形状または略楕円形状である。それにより、回折格子の有効面積の割合が増える。つまり、回折格子において、光束が入射しない箇所の面積を小さくすることができる。そのため、回折格子を低コストで作製することができる。

10 また、好ましくは、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズは、半径方向に沿った屈折率分布を有するロッドレンズである。それにより、ロッドレンズは、形状的に光ファイバとの整合性がよいため、ロッドレンズと光ファイバとを結合する場合に、組立調芯を容易にすることができる。

15 また、好ましくは、前記回折格子は、互いに平行な凹凸溝を表面に有した基板であって、前記溝の垂直断面形状は、略矩形形状である。それにより、溝を精度よく作製することができ、回折格子は、高い回折効率を得ることができる。

20 また、好ましくは、前記回折格子は、互いに平行な凹凸溝を表面に有する2次元フォトニック結晶であって、前記溝の垂直断面形状は、略矩形形状である。それにより、回折格子は、高い回折効率を得ることができる。

以下、本発明の実施の形態について具体的に説明する。

(実施の形態1)

25 本発明の実施の形態1の回折格子を用いた分光装置について図1を用いて説明する。図1は、本発明の実施の形態1に係る分光装置100の

構成を示した模式図である。実施の形態 1 の分光装置 100 は、光入射部 10 と回折格子 20 と光出射部 30 とを備えている。

5 光入射部 10 は、入射側光導波路である光ファイバ 11 と、光束を略平行光束に変換するコリメートレンズ 12 とを有する。光ファイバ 11 は、単一モードファイバ（偏波面保存ファイバを含む）であり、開口数は NA である。光ファイバ 11 は、複数の波長成分を含んでいてガウシアンビームで近似される光束を伝搬している。ただし、ガウシアンビームの強度が中心の $1/e^2$ となる遠視野広がり角により NA は定義されている。

10 コリメートレンズ 12 は光ファイバ 11 の出射端面に設置されている。光ファイバ 11 中を伝搬している光束は、光ファイバ 11 から出射され、コリメートレンズ 12 に入射して、略平行光束に変換される。

光ファイバ 11 の端面から出射される光束はガウシアンビームとみなせ、広がり角が大きく、複数の波長成分を含んでいる。コリメートレンズ 12 によって、この光束は広がり角が小さく光束の太いガウシアンビームである光束 4 に変換される。

回折格子 20 は、光束 4 が入射される側の面の形状が略矩形状もしくは略楕円形状が望ましく、表面に溝 21 が形成され、入射した光束を互いに異なる波長の光束ごとに射出方向を変えることで分光する。コリメートレンズ 12 から出射されたガウシアンビームである光束 4 は回折格子 20 に入射し、波長成分ごとに方向の互いに異なる光束 5 および 6 に分光される。

ここで、回折格子 20 の形状が略矩形状もしくは略楕円形状が望ましい理由を説明する。光束 4 が円形のビームであれば、光束 4 が回折格子 20 に対して垂直に入射する場合は、回折格子 20 の入射面において光束 4 は円形である。また、光束 4 が回折格子 20 に対して垂直以外で入

射する場合は、回折格子 20 の入射面において光束 4 は楕円形状になる。したがって、回折格子 20 の形状は略楕円形状である方が、光束 4 が入射しない無駄な箇所がないため、回折格子 20 を低コストで作製することができる。なお、回折格子 20 の光束 4 が入射される面の形状が略矩形形状であっても、無駄な箇所が少ない形状であるため、回折格子 20 を低コストで作製することができる。

光出射部 30 は集光レンズ 31 a および 31 b と出射側光ファイバ 32 a および 32 b とを備えている。集光レンズ 31 a および 31 b と、出射側光ファイバ 32 a および 32 b とは、回折格子 20 で分光された
10 光束の数だけ設置されている。実施の形態 1 では二つの光束 5 および 6 に分光しているので、集光レンズ 31 a および 31 b が設置されている。光束 5 および 6 のそれぞれが集光レンズ 31 a および 31 b により集光され、それぞれ出射側光ファイバ 32 a および 32 b に結合される。

光束 5 の波長を λ_1 とし、光束 6 の波長を λ_2 とする。回折格子 20 に
15 入射される光束 4 は、光束 5 と光束 6 とが混合された光である。このとき、隣接入射光の波長は λ_1 および λ_2 であり、これら隣接入射光の平均波長 λ_0 は、

$$\lambda_0 = (\lambda_1 + \lambda_2) / 2$$

で表わすことができる。

20 また、回折格子 20 により回折されて分光された光束 5 と光束 6 とのそれぞれの回折角度の差を $\Delta\psi$ (単位はラジアン) とする。

コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31 a および 31 b とは焦点距離および大きさが互いに等しい屈折率分布型ロッドレンズであり、その有効径は d で、物理的な外径は D とする。また、回折格子 20 と集光レン
25 ズ 31 a および 31 b との間隔を L とする。

コリメートレンズ 12 から回折格子 20 に向けて出射される光束 4 の

5 ビームウエスト半径は w_0 である。光束4の光束はガウシアンビームなので、厳密にはその半径は位置によって変化する。しかし、ビームウエスト半径 w_0 は十分に大きく、コリメートレンズ12から集光レンズ31aおよび31bまでの光束4、5および6の半径（ガウシアンビームの光強度が光軸位置の $1/e^2$ となる半径）はビームウエスト半径 w_0 に等しい一定値であるとみなすことができる。

ビームウエスト半径が w_0 である光束4の、遠視野における広がり角 θ_0 は、以下の式で表わされる。

$$\tan \theta_0 = \lambda_0 / (\pi w_0)$$

10 ただし、 θ_0 は微小角なので

$$\theta_0 = \lambda_0 / (\pi w_0) \quad (1)$$

としても差し支えない。

波長 λ_1 および λ_2 の光束5および6に対する回折角の角度差が $\Delta\psi$ なので、波長 λ_1 の光束5と波長 λ_2 の光束6を明確に分離するには、

$$15 \quad \Delta\psi \geq 3\theta_0 \quad (2)$$

であることが望ましい。(1)、(2)式より、

$$w_0 \geq 3\lambda_0 / (\pi \Delta\psi) \quad (3)$$

の関係が得られる。

ここで、(2)式の条件が必要である理由について図2および図3を用いて説明する。図2は、 $\Delta\psi \geq 3\theta_0$ である場合の光束5および6の関係を示す模式図である。また、図3は、 $\Delta\psi = 2\theta_0$ である場合の光束5および6の関係を示す模式図である。図2において、広がり角 θ_0 の、光束5および光束6が $\Delta\psi$ の角度差を有している。光束5および光束6の各ガウシアン分布5aおよびガウシアン分布6aからわかるように θ_0 は、各光束5および6の最大パワー I_0 の13.5%の値の箇所と各光束5および6の中心軸とのなす角度である。 $\Delta\psi \geq 3\theta_0$ である図2か

らわかるように、ガウシアン分布 5 a および 6 a とが重なっていないので、光束 5 および光束 6 は明確に分離されている。

しかし、 $\Delta\psi \geq 3\theta_0$ ではなく、 $\Delta\psi = 2\theta_0$ である図 3 からわかるように、 $\Delta\psi = 2\theta_0$ である場合には、ガウシアン分布 5 a および 6 a と
5 が重なる箇所が出てくる。そのため、光束 5 および光束 6 は充分に分離されていない。

以上のように、波長 λ_1 の光束 5 と波長 λ_2 の光束 6 とを明確に分離するには、 $\Delta\psi \geq 3\theta_0$ 。(式(2))の条件が必要である。

一方、ビームウエスト半径 w_0 に対して、光束のケラレを充分小さく
10 するには、コリメートレンズ 1 2 と集光レンズ 3 1 a および 3 1 b との有効径 d は、 $3w_0$ 以上必要である。また、光束 4 が回折格子 2 0 に垂直に入射する場合は、上述のように、回折格子 2 0 の入射面において光束 4 は円形である。したがって、光束 4 がすべて回折格子 2 0 に入射するためには、溝 2 1 に対して平行な方向(図 1 の紙面に対して垂直な方向)
15 向)に沿った回折格子 2 0 の長さ g_p および溝 2 1 に対して垂直な方向(図 1 の紙面に平行であって、回折格子 2 0 の光束 4 が入射する側の面に沿った方向)に沿った回折格子 2 0 の長さ g_v は、ともに $3W_0$ 以上必要である。ここで、回折格子 2 0 の長さ g_p および g_v のうち小さい方の値を G_0 とする。すなわち、溝 2 1 に対して平行な方向に沿った回折格子
20 子 2 0 の長さ g_p および溝 2 1 に対して垂直な方向に沿った回折格子 2 0 の長さ g_v は G_0 以上である。

上記のように、有効径 d と回折格子 2 0 の長さ g_p および g_v とが $3W_0$ 以上を条件とするのは、ガウシアンビームの実際の広がり、ビームウエスト半径 w_0 よりも広がっているためである。つまり、光束 4 のす
25 べてのエネルギーを用いるためには、上述のように有効径 d と回折格子 2 0 の長さ g_p および g_v とが $3W_0$ 以上である必要がある。

したがって、(3) 式より、

$$d \geq 9 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi) \quad (4)$$

$$G_0 \geq 9 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi) \quad (5)$$

が得られる。

- 5 ところで、光ファイバ 1 1 の開口数 NA と、コリメートレンズ 1 2 と集光レンズ 3 1 a および 3 1 b との焦点距離 f とより、光ファイバ 1 1 から出射されるガウシアンビームである光束 4 を少ない損失で取り込むためには、コリメートレンズ 1 2 の有効径 d として

$$d = 3 f \cdot NA \quad (6)$$

- 10 が必要である。なお、コリメートレンズ 1 2 の半径が $f \cdot NA$ 、すなわちコリメートレンズ 1 2 の直径が $2 f \cdot NA$ としたのでは、光束 4 の外側部分の光を取り込むことができず、損失が生じる。

したがって、(4)、(5) および (6) 式より最小限必要なレンズ有効径および回折格子の大きさは、

15 $d \geq a$

$$G_0 \geq a$$

となる。ただし、

$$3 f \cdot NA > 9 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi)$$

の場合には、

20 $a = 3 f \cdot NA$

とすればよい。この場合は、光量ロスがなく分解能も確保される。ただし、

$$3 f \cdot NA < 9 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi)$$

とすると、光量ロスはないものの、光束が $9 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi)$ よりも細

- 25 くなるので、分解能が悪くなってしまう。そこで、 a の値としては、

$$3 f \cdot NA \geq 9 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi)$$

の関係を満たすことを前提として、

$$a = 3 f \cdot NA$$

とする。

ただし、上述の各式は入射する光束 4 の光束が回折格子 20 に対して、

- 5 垂直入射する場合に相当している。

ここで、図 1 に示すように、光束 4 が回折格子 20 に対して垂直に入射しない場合には、回折格子 20 の入射面での、溝 21 に対して平行な方向に沿った光束 4 の長さは変化しない。しかし、回折格子 20 の入射面での、溝 21 に対して垂直な方向に沿った光束 4 の長さは大きくなる。

- 10 すなわち、溝 21 に対して垂直な方向（図 1 の紙面に平行であって、回折格子 20 の光束 4 が入射する面の方向）に沿った回折格子 20 の長さ g_v は以下の条件を満たす必要がある。すなわち、

$$g_v \geq G_0 / \cos \phi$$

である。また、溝 21 に対して平行な方向（図 1 の紙面に対して垂直な

- 15 方向）に沿った回折格子 20 の長さ g_p は G_0 に等しいので、

$$g_p \geq a$$

である。これらにより、光束 4 がすべて回折格子 20 に入射することができる。そのため、損失が生じることがない。

回折格子 20 で分光した光束 5 および 6 が、それぞれ集光レンズ 31

- 20 a および 31 b に入射するためには、光束 5 および 6 どちらの間隔が、集光レンズ 31 a および 31 b の物理的外径 D 以上である必要がある。すなわち、光束 5 および 6 どちらの間隔を、回折格子 20 と集光レンズ 31 a および 31 b との間隔である L で表し、これが物理的外径 D 以上であるため、

- 25 $L \cdot \tan \Delta \psi \geq D$

関係が成り立つ。また、回折角の角度差 $\Delta \psi$ も微小角なので、

$$L \geq D / \Delta \psi$$

となる。これにより、 L の最小値が得られる。

5 以上の結果より、単一モード光ファイバ11を光入射部10に用いた場合、すなわち入射光束である光束4がガウシアンビームとみなせ、かつ平均波長 λ_0 と回折角の角度差 $\Delta \psi$ とが定まっている場合の分光装置100の各部材および全体の最小限の大きさを求めることができる。これらを以下に示す。

(a) コリメートレンズ12と集光レンズ31aおよび31bの有効径 d の最小値は、 $9 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi)$ および $3 f \cdot NA$ のうちの大きい方の値である。コリメートレンズ12と集光レンズ31aおよび31bとの焦点距離 f が自由に選択できるのであれば、両者が等しくなる場合、すなわち焦点距離 f は、

$$f = 3 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi \cdot NA)$$

とすればよい。

15 (b) 回折格子20（略矩形状あるいは略楕円形状とする）の大きさの最小値は以下のようなになる。

溝21に対して、垂直な方向に沿った回折格子20の長さ g_v は、 $a / \cos \phi$ となる。また、溝21に対して、垂直な方向に沿った回折格子20の長さ g_p は a となる。

20 (c) 回折格子20と集光レンズ31aおよび31bの距離 L の最小値は、 $D / \Delta \psi$ となる。

(d) コリメートレンズ12と回折格子20との間隔には制限がない。したがって、短いほどよい。

25 (e) コリメートレンズ12と集光レンズ31aおよび31bとの物理的外径 D の最小値は、コリメートレンズ12と集光レンズ31aおよび31bとの有効径 d と等しくすればよい。

以上の条件を満たすことで、実施の形態 1 の回折格子を用いた分光装置 100 は、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能であり、最小化することができる。

上述の説明は、コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31 a および 31 b とが同一の焦点距離および大きさを有する場合の分光装置 100 を最小化するための条件についてであった。ここで、入射側の光ファイバ 11 の開口数と出射側光ファイバ 32 a および 32 b の開口数とが異なる場合には、コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31 a および 31 b とが異なる物とする必要がある。そこで、コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31 a および 31 b とが異なる場合の、分光装置 100 を最小化するための条件について図 1 を用いて、以下に説明する。光ファイバ 11 の開口数は上述した場合と同様で NA とし、出射側光ファイバ 32 a および 32 b の開口数は NA' とする。このとき、コリメートレンズ 12 は上述した場合と同様であり、コリメートレンズ 12 の有効径を d とし、焦点距離を f とし、物理的外径を D とする。集光レンズ 31 a および 31 b は上述したものとは異なり、集光レンズ 31 a および 31 b の有効径を d' とし、焦点距離を f' とし、物理的外径を D' とする。このときの分構装置 100 が最小化する条件を以下に示す。

(a) コリメートレンズ 12 の有効径 d の最小値は、 $9\lambda_0 / (\pi \Delta \psi)$ および $3f \cdot NA$ のうちの大きい方の値である。また、集光レンズ 31 a および 31 b の有効径 d' の最小値も同様に、 $9\lambda_0 / (\pi \Delta \psi)$ および $3f \cdot NA$ のうちの大きい方の値である。集光レンズ 31 a および 31 b の焦点距離 f' は、入射側であるコリメートレンズ 12 の焦点距離 f と対応させることが望ましいので、

$$f \cdot NA = f' \cdot NA'$$

となり、すなわち、

$$f' = f (NA / NA')$$

とすればよい。

(b) 回折格子 20 (略矩形状あるいは略楕円形状とする) の大きさの最小値は上述と同様に、以下のようになる。

- 5 溝 21 に対して、垂直な方向に沿った回折格子 20 の長さ g_v は、 $a / \cos \phi$ となる。また、溝 21 に対して、垂直な方向に沿った回折格子 20 の長さ g_p は a となる。

- (c) 回折格子 20 と集光レンズ 31a および 31b の距離 L の最小値は、集光レンズ 31a および 31b の物理的外径 D' を用いて、 $D' / \Delta \psi$ となる。
- 10

(d) コリメートレンズ 12 と回折格子 20 との間隔には制限がない。したがって、短いほどよい。

- (e) コリメートレンズ 12 の物理的外径 D の最小値は、コリメートレンズ 12 の有効径 d と等しい。また、集光レンズ 31a および 31b の物理的外径 D' は、集光レンズ 31a および 31b の有効径 d' と等しくすればよい。
- 15

以上の条件を満たすことで、コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31a および 31b とが異なる場合に、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能である分光装置 100 を最小化することができる。

20 (実施の形態 2)

- 本発明の実施の形態 2 に係る回折格子 20 を用いた分光装置 200 について図 4 を用いて説明する。図 4 は、本発明の実施の形態 2 に係る分光装置 200 の構成を示した模式図である。実施の形態 2 に係る分光装置 200 と実施の形態 1 の分光装置 100 との異なる点は、単一モード
- 25 ファイバである光ファイバ 11 の替わりに、多モードファイバである光ファイバ 11a を用いている点で、その他の構成はほぼ同様である。そ

のため、同一部材については同一の符号を付し、説明を省略している。

- 実施の形態 2 の光入射部 10 における、光ファイバ 11 a は、多モードファイバであるため、光ファイバ 11 a 中を伝搬して、出射される光は、均一な光強度をもつ面光源（光ファイバ 11 a）からの出射光とみなせる。この場合の分光装置 200 の最小条件について以下に示す。

- 光ファイバ 11 a のコア半径（すなわち面光源の大きさ）を w_1 とし、面光源である光ファイバ 11 a の開口数を NA、同一の形状のレンズであるコリメートレンズ 12 と集光レンズ 31 a および 31 b との焦点距離を f とすると、コリメートされた光束 4 の広がり角 θ_1 （半角）は、
- 以下の式で表わされる。

$$\tan \theta_1 = w_1 / f$$

ただし、 θ_1 は微小角なので

$$\theta_1 = w_1 / f \quad (7)$$

としても差し支えない。

- 波長 λ_1 および λ_2 の光束 5 および 6 が回折される角度の差が $\Delta\psi$ であるから、波長 λ_1 の光束 5 と波長 λ_2 の光束 6 を明確に分離するには、

$$\Delta\psi \geq 2\theta_1 \quad (8)$$

であることが望ましい。したがって (7) および (8) 式より、

$$\Delta\psi \geq 2w_1 / f$$

- が得られ、コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31 a および 31 b との焦点距離 f は、

$$f \geq 2w_1 / \Delta\psi \quad (9)$$

の条件を満たすことが必要となる。

- コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31 a および 31 b との有効径 d と溝 21 に対して平行な方向（図 4 の紙面に対して垂直な方向）に沿った回折格子 20 の長さ g_p および溝 21 に対して垂直な方向（図 4 の紙

面に平行であって、回折格子 20 の光束 4 が入射する側の面に沿った方向) に沿った回折格子 20 の長さ g_v とは、光束 4 の直径以上必要である。ここで、回折格子 20 の長さ g_p および g_v のうち小さい方の値を G_0 とする。また、この場合の光束の半径は $f \cdot NA$ で表わされるから、

$$5 \quad d \geq 2 f \cdot NA \quad (10)$$

$$G_0 \geq 2 f \cdot NA \quad (11)$$

が得られ、コリメートレンズ 12 の有効径 d と回折格子 20 の長さ g_p および g_v の最小値がわかる。ただし、(11) 式は光束 4 が回折格子 20 に対して、垂直入射する場合に相当する。光束 4 が回折格子 20 に対して、入射角 ϕ で入射する場合の回折格子 20 の長さ g_v は、

$$g_v \geq G_0 / \cos \phi$$

で表される。

回折格子 20 と集光レンズ 31 a および 31 b との間隔である L の満たすべき条件は、実施の形態 1 の場合と同様であり、

$$15 \quad L : \tan \Delta \psi \geq D$$

となる。ここで、 $\Delta \psi$ は微小角なので、

$$L \geq D / \Delta \psi$$

が L の満たすべき条件となる。

以上の結果より、多モード光ファイバ 11 a を光入射部 10 に用いた場合、すなわち、入射光束である光束 4 が均一な光強度をもつ面光源(光ファイバ 11 a) からの出射光とみなせ、かつ平均波長 λ_0 と回折角の角度差 $\Delta \psi$ とが定まっている場合の分光装置 200 の各部材および全体の最小限の大きさを求めることができる。これらを以下に示す。

(a) コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31 a および 31 b との有効径 d の最小値は、 $2 f \cdot NA$ である。

(b) コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31 a および 31 b との焦点

距離 f の最小値は、 $2w_1/\Delta\psi$ である。

(c) 回折格子 20 (略矩形状あるいは略楕円形状とする) の大きさの最小値は以下のようになる。

溝 21 に対して、垂直な方向に沿った回折格子 20 の長さ g_v は、
5 $f \cdot NA / \cos\phi$ である。また、溝 21 に対して、平行な方向に沿った回折格子 20 の長さ g_p は、 $2f \cdot NA$ である。

(d) 回折格子 20 と集光レンズ 31a および 31b との距離 L の最小値は、 $D/\Delta\psi$ となる。

(e) コリメートレンズ 12 と回折格子 20 の間隔には制限がない。し
10 たがって、短いほどよい。

(f) コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31a および 31b との物理的外径 D の最小値は、コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31a および 31b との有効径 d と等しくすればよい。

以上の条件を満たすことで、実施の形態 2 の回折格子を用いた分光装
15 置は、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能であり、最小化することができる。

上述の説明は、コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31a および 31b とが同一の焦点距離および大きさを有する場合の分光装置 200 を最小化するための条件についてであった。ここで、入射側の光ファイバ 1
20 1a の開口数と出射側光ファイバ 32a および 32b との開口数が異なる場合には、コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31a および 31b とが異なる物とする必要がある。そこで、コリメートレンズ 12 と集光レンズ 31a および 31b とが異なる場合の、分光装置 200 を最小化するための条件について図 4 を用いて、以下に説明する。光ファイバ 1
25 a の開口数は上述した場合と同様で NA とし、出射側光ファイバ 32a および 32b の開口数は NA' とする。このとき、コリメートレンズ 1

2は上述した場合と同様であり、コリメートレンズ12の有効径を d とし、焦点距離を f とし、物理的外径を D とする。集光レンズ31aおよび31bは上述したものとは異なり、集光レンズ31aおよび31bの有効径を d' とし、焦点距離を f' とし、物理的外径を D' とする。このときの分構装置200が最小化する条件を以下に示す。

- (a) コリメートレンズ12の有効径 d の最小値は、 $2f \cdot NA$ である。また、集光レンズ31aおよび31bの有効径 d' の最小値は、 $2f' \cdot NA'$ である。
- (b) コリメートレンズ12の焦点距離 f の最小値は、 $2w_1/\Delta\psi$ である。また、集光レンズ31aおよび31bの焦点距離 f' の最小値は、 $f(NA/NA')$ となる。
- (c) 回折格子20（略矩形状あるいは略楕円形状とする）の大きさの最小値は以下のようなになる。
- 溝21に対して、垂直な方向に沿った回折格子20の長さ g_v は、 $2f \cdot NA/\cos\psi$ である。また、溝21に対して、平行な方向に沿った回折格子20の長さ g_p は、 $2f \cdot NA$ である。
- (d) 回折格子20と集光レンズ31aおよび31bの距離 L の最小値は、集光レンズ31aおよび31bの物理的外径 D' を用いて、 $D'/\Delta\psi$ となる。
- (e) コリメートレンズ12と回折格子20との間隔には制限がない。したがって、短いほどよい。
- (f) コリメートレンズ12の物理的外径 D の最小値は、コリメートレンズ12の有効径 d と等しい。また、集光レンズ31aおよび31bの物理的外径 D' は、集光レンズ31aおよび31bの有効径 d' と等しくすればよい。

以上の条件を満たすことで、コリメートレンズ12と集光レンズ31

a および 3 1 b とが異なる場合に、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能である分光装置 2 0 0 を最小化することができる。

(実施の形態 3)

5 本発明の実施の形態 3 に係る回折格子を用いた分光装置 3 0 0 について図 5 を用いて説明する。図 5 は、本発明の実施の形態 3 に係る分光装置 3 0 0 の構成を示した模式図である。実施の形態 3 の分光装置 3 0 0 と実施の形態 1 の分光装置 1 0 0 との異なる点は、波長の異なる各光束に対して共通の集光レンズ 3 3 が 1 つだけ設置されている点である。集光レンズ 3 3 の出射端には、出射側光ファイバ 3 4 a および 3 4 b が設置されている。また、実施の形態 3 の分光装置 3 0 0 は、実施の形態 1
10 で示した単一モード光ファイバ 1 1 であっても、実施の形態 2 で示した多モード光ファイバ 1 1 a のどちらかである。実施の形態 3 に係る分光装置 3 0 0 と実施の形態 1 の分光装置 1 0 0 とのその他の構成はほぼ同様である。そのため、同一部材については同一の符号を付し、説明を省略している。
15

実施の形態 3 の分光装置 3 0 0 においては、回折格子 2 0 によって互いに異なる波長の光束ごとに射出方向を変えることで分光したのち、分光された各光束 5 および 6 はすべて集光レンズ 3 3 に入射する。各光束 5 および 6 は集光レンズ 3 3 に入射した後、集光レンズ 3 3 の出射端側に並べて設置された出射側光ファイバ 3 4 a および 3 4 b にそれぞれ結合される。なお、コリメートレンズ 1 2 と集光レンズ 3 3 とは同一形状のレンズであり、その焦点距離は f であり、有効径は d であり、物理的外径は D である。
20

まず、光入射部 1 0 が単一モードの光ファイバ 1 1 を有する場合における実施の形態 3 に係る分光装置 3 0 0 の最小値について説明する。なお、光ファイバ 1 1 は、単一モードファイバ（偏波面保存ファイバを含
25

む) であり、開口数は NA である。ただし、ガウシアンビームの強度が中心の $1/e^2$ となる遠視野広がり角により NA は定義されている。

実施の形態 3 の分光装置 300 が最小値になる条件は、実施の形態 1 に記載した、(a) および (b) の条件と同様に求めることができる。具体的には、以下の条件が必要である。

5 5 的には、以下の条件が必要である。

まず、同一形状のレンズであるコリメートレンズ 12 と集光レンズ 33 との有効径 d の最小値は、 $9\lambda_0/(\pi\Delta\psi)$ および $3f \cdot NA$ のうちの大きい方の値である。コリメートレンズ 12 と集光レンズ 33 との焦点距離 f が自由に選択できるのであれば、両者が等しくなる場合、す

10 なわち焦点距離 f は、

$$f = 3\lambda_0/(\pi\Delta\psi \cdot NA)$$

とすればよい。

また、回折格子 20 (略矩形状あるいは略楕円形状とする) の大きさの最小値は以下になる。

15 溝 21 に対して、垂直な方向に沿った回折格子 20 の長さ g_v は、 $a/\cos\phi$ となる。また、溝 21 に対して、平行な方向に沿った回折格子 20 の長さ g_p は a となる。

上述の条件の他に、隣接する集光点の間隔、すなわち出射側光ファイバ 34a および 34b のそれぞれの光軸間隔 s に関する条件が加わる。

20 つまり、コリメートレンズ 12 および集光レンズ 33 の焦点距離を f として、

$$s = f \cdot \Delta\psi$$

の条件が必要である。

ここで、コリメートレンズ 12 と集光レンズ 33 とが異なる場合の、
25 分光装置 300 を最小化するための条件について図 5 を用いて、以下に説明する。光ファイバ 11 の開口数は上述した場合と同様で NA とし、

出射側光ファイバ 3 4 a および 3 4 b の開口数は NA' とする。このとき、コリメートレンズ 1 2 は上述した場合と同様であり、コリメートレンズ 1 2 の有効径を d とし、焦点距離を f とし、物理的外径を D とする。集光レンズ 3 3 は上述したものとは異なり、集光レンズ 3 3 の有効径を d' とし、焦点距離を f' とし、物理的外径を D' とする。

- 5 まず、コリメートレンズ 1 2 の有効径 d の最小値は、 $9\lambda_0 / (\pi \Delta\psi)$ および $3f \cdot NA$ のうちの大きい方の値である。集光レンズ 3 3 の有効径 d' の最小値は、同様に、 $9\lambda_0 / (\pi \Delta\psi)$ および $3f \cdot NA$ のうちの大きい方の値である。集光レンズ 3 3 の焦点距離 f' は、 $f(NA/NA')$ とすればよい。

10 また、回折格子 2 0 (略矩形状あるいは略楕円形状とする) の大きさの最小値は以下になる。

- 15 溝 2 1 に対して、垂直な方向に沿った回折格子 2 0 の長さ g_v は、 $a / \cos\phi$ となる。また、溝 2 1 に対して、平行な方向に沿った回折格子 2 0 の長さ g_p は a となる。

さらに、隣接する集光点の間隔、すなわち出射側光ファイバ 3 4 a および 3 4 b のそれぞれの光軸間隔 s に関する条件は、

$$s = f' \cdot \Delta\psi$$

とすればよい。

- 20 また、光入射部 1 0 が多モードファイバである光ファイバ 1 1 a を有する場合における実施の形態 3 に係る分光装置 3 0 0 の最小値について説明する。なお、面光源である光ファイバ 1 1 a の開口数を NA 、同一の形状のレンズであるコリメートレンズ 1 2 と集光レンズ 3 3 との焦点距離を f とする。また、コリメートレンズ 1 2 と集光レンズ 3 3 の有効径は d であり、これらの物理的外径は D である。

25 実施の形態 3 の分光装置 3 0 0 が最小値になる条件は、実施の形態 2

に記載した、(a) および (b) の条件と同様に求めることができる。具体的には、以下の条件が必要である。

まず、コリメートレンズ 1 2 と集光レンズ 3 3 との有効径 d の最小値は、 $2 f \cdot NA$ である。

- 5 また、コリメートレンズ 1 2 と集光レンズ 3 3 との焦点距離 f の最小値は、 $2 w_1 / \Delta \psi$ である。

また、回折格子 2 0 (略矩形状あるいは略楕円形状とする) の大きさの最小値は以下のようになる。溝 2 1 に対して、垂直な方向に沿った回折格子 2 0 の長さ g_v は、 $2 f \cdot NA / \cos \phi$ である。また、溝 2 1
10 に対して、平行な方向に沿った回折格子 2 0 の長さ g_p は、 $2 f \cdot NA$ である。

上述の条件の他に、隣接する集光点の間隔、すなわち出射側光ファイバ 3 4 a および 3 4 b のそれぞれの光軸間隔 s に関する条件が加わる。

- つまり、コリメートレンズ 1 2 および集光レンズ 3 3 の焦点距離を f
15 として、

$$s = f \cdot \Delta \psi$$

の条件が必要である。

- ここで、コリメートレンズ 1 2 と集光レンズ 3 3 とが異なる場合の、分光装置 3 0 0 を最小化するための条件について図 5 を用いて、以下に
20 説明する。光ファイバ 1 1 a の開口数は上述した場合と同様で NA とし、出射側光ファイバ 3 4 a および 3 4 b の開口数は NA' とする。このとき、コリメートレンズ 1 2 は上述した場合と同様であり、コリメートレンズ 1 2 の有効径を d とし、焦点距離を f とし、物理的外径を D とする。集光レンズ 3 3 は上述したものとは異なり、集光レンズ 3 3 の有効径を
25 d' とし、焦点距離を f' とし、物理的外径を D' とする。

まず、コリメートレンズ 1 2 の有効径 d の最小値は、 $2 f \cdot NA$ であ

る。また、集光レンズ 33 の有効径 d' の最小値も同様に、 $2f' \cdot NA'$ である。

また、コリメートレンズ 12 と集光レンズ 33 との焦点距離 f の最小値は、 $2w_1/\Delta\psi$ である。また、集光レンズ 33 の焦点距離 f' は、
5 (NA/NA') となる。

また、回折格子 20 (略矩形状あるいは略楕円形状とする) の大きさの最小値は以下のようになる。溝 21 に対して、垂直な方向に沿った回折格子 20 の長さ g_v は、 $2f \cdot NA/\cos\phi$ である。また、溝 21 に対して、平行な方向に沿った回折格子 20 の長さ g_p は、
10 $2f \cdot NA$ である。

さらに、隣接する集光点の間隔、すなわち出射側光ファイバ 34a および 34b のそれぞれの光軸間隔 s に関する条件は、

$$s = f' \cdot \Delta\psi$$

とすればよい。

15 以上の条件を満たすことで、実施の形態 3 の回折格子を用いた分光装置 300 は、分離すべき隣接波長と、それによる回折格子の分解力が定まっているとき、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能であり、最小化することができる。

20 実施の形態 3 のように、具体的に光ファイバ 34a および 34b を並べて保持するためには、複数光ファイバ用のフェルールを用いる方法または V 溝アレイに光ファイバ 34a および 34b を並べるといった方法が知られており、容易に実現できる。

25 実施の形態 1～3 におけるコリメートレンズ 12 と、集光レンズ 31a、31b および 33 とには、屈折率分布型レンズを用いた。屈折率分布型レンズは、通常、均質ガラスロッドのイオン交換により作製することができる。そのため、外径 2mm 以下の小径で高性能なレンズを安価

に量産することができる。また、このレンズはロッド状であるので光ファイバとの結合と光軸調整が容易である。そのため、コリメートレンズ12と集光レンズ31a、31bおよび33としてこのレンズを用いることが望ましい。

- 5 なお、コリメートレンズ12と、集光レンズ31a、31bおよび33として、均質ガラスあるいはプラスチックを材料とした球面レンズを複数枚組み合わせたレンズ系、非球面レンズおよび球レンズ等を使用してもよい。

- 10 実施の形態1～3のコリメートレンズ12と、集光レンズ31a、31bおよび33とは、同一種類で同等の形状および特性を持つものを用いるのが光学的にも、また製造上の便宜からも望ましい。しかし上述のように、各条件を満たしていれば、コリメートレンズ12と、集光レンズ31a、31bおよび33とを異なるレンズとして分光装置100、200および300を構成することは可能である。

- 15 なお、実施の形態1～3の分光装置100、200および300は、光束4を二つの光束5および6に分光するが、分光する光束の数がさらに増えてもよい。その際に、分光する隣接波長の各間隔が実質的に一定とみなせる場合には、距離Lおよび光軸間隔sを上述した最小となる条件で統一すればよい。それにより、分光装置100、200および300を最小の大きさとすることができる。また、隣接波長の間隔が一定でない場合は、隣接波長ごとに、分光装置100、200および300を最小とする上述の各条件を個別で満たすように設定すればよい。それにより、分光装置100、200および300を最小の大きさとすることができる。

- 25 図6Aは断面形状が矩形状である回折格子の構成を示す断面図を、図6Bは図6Aの回折格子のさらに拡大図を示している。実施の形態1～

3では、図6Aに示すような溝21の断面形状が矩形状である回折格子20（以下、深溝型と呼ぶ）を用いている。図6Aに示されているのは、透過型の回折格子20であり、2つの波長を含む平行光束4が入射されると入射された面と反対側の面から、それぞれ出射角度が互いに異なる分波された光束5および6が出射される。

次に、実施の形態1～3で用いる回折格子20について説明する。回折格子20において、溝深さ、溝幅および周期が図6Bで示されているとき、溝幅とアスペクト比（溝深さと溝幅との比）とを最適化すると、広い波長域にわたって理論的に100%に近い回折効率が得られ、また偏光方向（TE偏光、TM偏光）による効率の差もほとんどないことが一般的に知られている（小山次郎、西原浩著「光波電子光学」第4章、コロナ社、1978年、参照）。

深溝型回折格子20による1次光の回折効率を、例えば、以下の条件で計算した。

15 基板材料：石英（屈折率1.46）

溝周期 G_p ：1400nm

溝幅 G_w ：530nm

溝深さ G_d ：3200nm

回折格子20への光束の入射角度：31°

20 計算にはRCWA(Rigorous Coupled Wave Analysis)法によるプログラム(Grating Solver Development社製GSOLVER ver4.20b)を使用した。図7に、入射する光束の波長に対する回折効率の計算結果を示す。

図7より、1300nm(1.3 μ m)～1600nm(1.6 μ m)の非常に広い波長域にわたって破線で表したTE偏光および実線で表したTM偏光共に89%以上の高い回折効率が確保されていることがわか

る。

また偏光依存損失 (Polarization Dependent Loss、PDL) についても計算により評価した。PDLはTM偏光およびTE偏光の効率の差により発生し、下式で表される。

$$5 \quad PDL = 10 \times \log_{10} (TM \text{ 偏光回折効率} / TE \text{ 偏光回折効率})$$

図8に入射する光束の波長に対するPDLの計算結果を示す。図8よりPDLは上記波長帯域1300nm(1.3μm)～1600nm(1.6μm)にわたって0.23dB以下となっていることがわかる。

光ファイバより導かれる光は光ファイバの状態によって様々な偏光状態にあり、現実的にその偏光状態を予測することは困難である。そのため、回折格子を用いた分光装置の応用分野を光通信に向けると、偏波方向を制御する部品をシステムに付加しなければならず、コスト上昇につながる。しかし、実施の形態1～3のように回折格子20に深溝型を用いることにより、図8に示したように偏波による損失を抑えることができ、システム構築に非常に有利である。

なお、従来はアスペクト比の大きい矩形状溝の加工は困難であったが、最近のエッチング技術の向上により精度の良いものが作製できるようになってきた。さらに、実施の形態1～3では、回折効率が高いことが望ましいので、深溝型の回折格子20を用いることが望ましい。

また、回折格子20を形成する基板材料を工夫することで、高アスペクト比加工の負担を軽減させることができる。具体的には基板材料として、より高屈折率の材料を用いることで比較的低いアスペクト比であっても同等の特性を得ることができる。高屈折率材料としてはシリコンの他に、例えば、酸化チタンや酸化タンタルといった金属酸化物、あるいは窒化シリコン等が挙げられる。

さらに、回折格子20は、いわゆる2次元フォトニック結晶構造とし

てもよい。図 9 は 2 次元フォトニック結晶構造の回折格子の構成を示す断面図である。具体的には、回折格子 2 0 の基板 2 2 上に第 1 層 2 3 および第 2 層 2 4 が交互に積層されて形成された周期構造多層膜 2 5 を形成してから、周期構造多層膜 2 5 にエッチングを施して溝 2 1 を形成することで、2 次元フォトニック結晶構造の回折格子 2 0 を作製することができる。このような構造としてもよい。それにより、回折格子 2 0 のアスペクト比の低減が可能である。

いずれにしても、使用目的によって回折格子 2 0 の材料は適宜選定すればよい。材料は光束の使用波長域における透明性が確保できることを前提として特に限定はない。しかし、例えば紫外光レーザによるパルス波のような高エネルギー照射に用いる場合には高エネルギー耐性をもつ石英が望ましい。また、高エネルギー照射のような過酷な条件下で使用されないならば、高屈折率材料を用いればよく、それにより加工プロセスの負荷を軽減させることができる。

ここで、回折格子 2 0 の深溝格子の形成方法について図 1 0 A ~ 図 1 0 D を用いて説明する。一般的に深溝格子の形成にはフォトリソグラフィによるパターンニングと気相エッチングによる溝加工を用いる。図 1 0 A ~ 図 1 0 D は回折格子の深溝格子の形成方法を示す工程図である。

石英基板 4 2 上にフォトレジスト 4 6 をスピコートした後、露光により所望の周期のラインパターンを形成する (図 1 0 A)。

このときの露光の光源は当然フォトレジスト 4 6 の感光波長を有するものである。例えば g 線、i 線ランプのような紫外光を用いたマスク露光や、He-Cd レーザのような紫外光レーザを用いた直接描画またはマスク露光、2 光束干渉露光および電子線を用いた直接描画等を用いればよい。コストとパターンの周期幅を考慮して使い分けることが好ましい。

次にレジストパターン上に金属膜 47 を成膜する (図 10 B)。成膜手法は、例えばスパッタや真空蒸着等を用いればよい。また、金属膜 47 は、例えばクロムやニッケル等を用いることができる。特に、後述する図 10 C に示す工程においてリフトオフを用いる場合には、フォトレジストの損傷やパターニング精度の向上の観点から真空蒸着を用いることが望ましい。

金属膜 47 を成膜後リフトオフ法により不要な金属膜 47 をフォトレジスト 46 とともに除去することで金属マスクパターンが形成される (図 10 C)。図 10 A に示した工程と図 10 B に示した工程との順番を入れ替えて、エッチングにより金属膜 47 によるマスクのパターンを形成させる手法も当然可能である。しかし、本発明者らが検討した結果、高アスペクト比の加工にはリフトオフによる厚膜金属マスクを用いた方法 (図 10 A ~ 図 10 D の工程を順次行う方法) がより好適であることがわかった。

次に、イオンエッチング装置を用いて垂直深溝 41 の加工を行う (図 10 D)。エッチング装置は被加工材料に適したものを選択すべきであるが、大面積を能率良く加工するには誘導結合プラズマ (ICP) や磁気中性線放電 (NLD) のような高密度プラズマによる反応性イオンエッチングを用いることが望ましい。最後に、残存する金属膜 47 によるマスクは腐食液等で除去すればよい。

本発明による分光装置は、光線の向きを逆とすれば複数波長の光を単一の光ファイバに送りこむ合波装置として使用することもできる。

なお、実施の形態 1 ~ 3 の分光装置は、情報通信分野における、波長多重 (WDM) 通信に使用することができる。なかでもメトロネットワークに導入される多重波長間隔が比較的広い低密度波長多重 (CWDM)

通信では部品の低コスト化が重要である。実施の形態 1 ～ 3 の分光装置はコンパクト化、低コスト化が可能であり、このようなシステムへの導入に非常に好適である。

- 5 一方、光記録分野では近年 D V D をはじめとして、大容量化を目指した記録デバイスの開発が進められている。このような記録情報の大容量化にともない記録・読み出し速度の高速化が求められることは明らかである。

- 10 そのひとつとして多波長による同時記録・読み出しが挙げられる。これは複数の波長を多重した光を光ヘッドへと導きそこで分波することで複数波長の光による書き込みあるいは読み込みを行ない、情報の平行処理を可能とするシステムである。この場合ヘッド材料はディスクの上を走査させることを考えれば小型であることが必須であり、実施の形態 1 ～ 3 で示した分光装置 1 0 0、2 0 0 および 3 0 0 はこのようなシステムへの組み込みに好適である。

- 15 実施の形態 1 ～ 3 の分光装置 1 0 0、2 0 0 および 3 0 0 が応用できる波長域は、光学素子の透過率さえ確保できるのであれば特に制限はない。しかし、光通信用としては 1 0 0 0 ～ 1 6 0 0 n m、光ディスク用であれば 2 0 0 ～ 8 0 0 n m といった波長域で使うことができる。

- 20 実施の形態 1 ～ 3 ではいずれも光入射部 1 0 および光出射部 3 0 は、光ファイバ(光ファイバ 1 1 および 1 1 a と、出射側光ファイバ 3 2 a、3 2 b、3 4 a および 3 4 b) とレンズ(コリメートレンズ 1 2 と、集光レンズ 3 1 a、3 1 b および 3 3) の組合せで構成されている。しかし、これ以外の構成でもかまわない。例えば、平板光導波路を光ファイバの代わりに使用してもよい。また光入射部 1 0 は、多波長光源の光を
25 コリメートレンズを介して使用する構成としてもよい。また、光出射部 2 には受光素子を設けて、波長ごとの光強度を測定するモニターとする

こともできる。

以下実施例を用いて本発明を具体的に説明する。

(実施例 1)

5 実施例 1 では、実施の形態 2 の分光装置の構成例について図 1 1 を用いて説明する。図 1 1 は実施例 1 の回折格子を用いた分光装置の構成を示す模式図である。

入射側光ファイバ 5 1 および出射側光ファイバ 5 6 は、可視光波長域用の屈折率分布型多モード光ファイバ（コア径／クラッド径＝1 0 0 / 1 4 0 μm 、NA＝0. 2 9、コーニング社製）である。コリメートレンズ 5 2 と集光レンズ 5 5 a および 5 5 b とは、日本板硝子社製の屈折率分布型ロッドレンズ（外径 1. 8 mm、焦点距離 1. 8 4 mm）である。コリメートレンズ 5 2 は入射側光ファイバ 5 1 の先端に固定されている。また、集光レンズ 5 5 a および 5 5 b は出射側光ファイバ 5 6 a および 5 6 b の先端にそれぞれ固定されている。

15 コリメートレンズ 5 2 および集光レンズ 5 5 a および 5 5 b の外側はステンレス製の鞘におおわれているので、物理的外径 D は 2. 4 mm である。

回折格子 5 4 は、厚さ 1 mm の合成石英板の片側に、エッチングにより深溝形状を 3 × 3 mm の面積の範囲に形成し、図 6 A に示す回折格子 20 と同様の構成とする。つまり、回折格子 5 4 の各寸法である溝周期、溝幅および溝深さは、図 6 B に示したとおりである。回折格子 5 4 において溝周期は 6 0 0 nm、溝幅 G_w は 3 3 0 nm および溝深さ G_d は 1 1 0 0 nm とした。

25 この際のエッチングの手順を以下に説明する。石英基板上に電子線レジストをスピコートした後、電子線描画により周期 6 0 0 nm のラインパターンを形成する。リフトオフ法によりレジストパターンを金属マ

スクに転写した後、反応性イオンエッチングを用いて深さ1100nmまでエッチングを行った。こうして作製された回折格子54の断面形状を走査型電子線顕微鏡（SEM）にて確認した。図12は、SEMにより撮影した回折格子54の写真である。図12に示すように、黒く写っている溝57が規則正しく並んでおり、ほぼ設計通りの構造を得られていることがわかる。

入射側光ファイバ51には、波長 $\lambda_1 = 635\text{ nm}$ と $\lambda_2 = 532\text{ nm}$ の半導体レーザ光を合波して送り込んだ。コリメートレンズ52からの光束を、コリメートレンズ52から1.1mm離して設置した回折格子54に、入射角 29° で入射した。回折格子54による1次光の出射角は、波長 λ_1 および λ_2 のそれぞれの光束に対してそれぞれ 35.0° および 23.7° であった。

回折格子54から距離 $L = 1.4\text{ mm}$ 離れたところに出射側の集光レンズ55aおよび55bを並べて、分光されたそれぞれの波長の光束を取り込み、光ファイバ56aおよび56bに結合した。集光レンズ55aおよび55bの間隔（光軸の間隔）は2.8mmとした。これらの光学系を金属製の筐体50に組み込んだ。図11に示すように、例えば、筐体50は、 $L_1 = 30\text{ mm}$ および $L_2 = 17\text{ mm}$ の大きさとする事ができ、小型化されている。

実施例1における回折格子54による1次光の回折効率を、入射光の偏光の向きを変えて測定した結果は、表1に示す通りである。

（表1）

偏光の向き	波長	
	λ_1	λ_2
0° （TE偏光）	83%	76%
45°	79%	83%
90° （TM偏光）	74%	89%

表 1 よりわかるように、1 次光の回折効率が非常に高く、偏光による差が小さい。

(実施例 2)

- 5 実施例 1 では、実施の形態 2 の条件を満たした分光装置の具体例を示したが、コリメートレンズ 5 2 および集光レンズ 5 5 a および 5 5 b はさらに小型化する余地がある (図 1 1)。実施例 2 は実施例 1 と同様の構成であって、入射側光ファイバ 5 1 と出射側光ファイバ 5 6 a および 5 6 b と回折格子 5 4 とを用いて、コリメートレンズ 5 2 および集光レン
10 ズ 5 5 a および 5 5 b を最小限まで小型化した設計例である。実施例 2 の分光装置の構造も図 1 1 で示されるので、図 1 1 を用いて実施例 2 について説明する。

- 入射側光ファイバ 5 1 および出射側光ファイバ 5 6 a および 5 6 b には、 $NA = 0.29$ およびコア半径 $w_1 = 0.05 \text{ mm}$ の多モード光ファイ
15 バを使用した。また、分離すべき二つの光束の波長は、 $\lambda_1 = 635 \text{ nm}$ と $\lambda_2 = 532 \text{ nm}$ であり (平均波長 $\lambda_0 = 583.5 \text{ nm}$)、回折角の角度差 $\Delta\psi = 11.3^\circ$ である。

- このとき、実施の形態 2 で示した条件より、コリメートレンズ 5 2 および集光レンズ 5 5 a および 5 5 b の焦点距離 f の最小値は、 $2w_1/\Delta\psi = 0.507 \text{ mm}$ となり、コリメートレンズ 5 2 および集光レンズ 5
20 5 a および 5 5 b の有効径 d の最小値は、 $2f \cdot NA = 0.294 \text{ mm}$ となる。

- 回折格子 5 4 の最低限必要な大きさは、入射角 $\phi = 29^\circ$ とすると、溝に対して垂直な方向に沿った回折格子 5 4 の長さ $g_v = 0.294/\cos\phi = 0.336 \text{ mm}$ であり、溝に対して平行な方向に沿った回折
25 格子 5 4 の長さ $g_p = 0.294 \text{ mm}$ となる。集光レンズ 5 5 a および

5 5 b の物理的外径 D を有効径よりもひとまわり大きい 0.3 mm とすると、回折格子と集光レンズの間隔 L は、 $D/\Delta\psi = 1.52 \text{ mm}$ が最小となる。

(実施例 3)

5 実施例 3 では、実施の形態 3 の分光装置の構成例について図 5 を用いて説明する。実施例 3 の分光装置において、光ファイバ 11 は、 $NA = 0.1$ の単一モード光ファイバを使用した。分離すべき光束の波長はそれぞれ $\lambda_1 = 1545 \text{ nm}$ と $\lambda_2 = 1555 \text{ nm}$ (平均波長 $\lambda_0 = 1550 \text{ nm}$) とし、回折角の角度差 $\Delta\psi = 0.6^\circ$ とする。

10 光出射部 30 は集光レンズ 33 が一つで、出射側光ファイバ 34 a および 34 b はそれぞれの光軸の間隔 $s = 125 \mu\text{m}$ で密着して並べた。

この場合、コリメートレンズ 12 および集光レンズ 33 の焦点距離 f は、 $s/\Delta\psi = 11.94 \text{ mm}$ が必要である。コリメートレンズ 12 および集光レンズ 33 の有効径 d の最小値は、 $9\lambda_0/(\pi\Delta\psi) = 0.4$
15 24 mm および $3f \cdot NA = 3.58 \text{ mm}$ の大きい方をとるので、 3.58 mm 以上が必要である。

回折格子 20 の最低限必要な大きさは、入射角 $\phi = 45^\circ$ として

溝 21 に対して垂直な方向に沿った回折格子 20 の長さ $g_v = 3.58/\cos\phi = 5.06 \text{ mm}$ であり、溝 21 に対して平行な方向に沿った回折格子 20 の長さ $g_p = 3.58 \text{ mm}$ である。
20

以上より、 $f = 12 \text{ mm}$ 、 $d = 3.6 \text{ mm}$ のコリメートレンズ 12 および集光レンズ 33 を採用し、例えば 16 チャンネルの分波装置が構成できる。このときの回折格子 20 の大きさは $6 \times 4 \text{ mm}$ である。

以上により、実施の形態 1 ~ 3 の回折格子を用いた分光装置 100、
25 200 および 300 は、小型化することが可能であり、その上、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能である。

産業上の利用可能性

本発明の回折格子を用いた分光装置は、小型であり、高い効率で偏光依存の少ない波長分離が可能であるため、通信システム、あるいは光デ

5 ディスク用ピックアップ装置等に用いられる。

請 求 の 範 囲

1. 複数の波長成分を含んでいてガウシアンビームで近似される光束を出射する入射側光導波路と、該入射側光導波路の出射側に設置され、前記入射側光導波路から出射された前記ガウシアンビームで近似される光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、
- 前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに射出方向の異なる光束を射出することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、
- 10 前記回折格子によって分光された各光束をそれぞれ集光する、複数の集光レンズを有する光射出部とを備え、
- 前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの有効径を d とし、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの焦点距離を f とし、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの物理的外径を D とし、前記回折格子と前記各集光レンズとの間隔を L とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記入射側光導波路の開口数を NA とし、前記溝に対して垂直な方向に沿った前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿った前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、前記各波長 λ_1 および λ_2 の前記隣接入射光の平均波長を λ_0 とし、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士、前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ (ラジアン) とした場合に、以下の式を満たす回折格子を用いた分光装置。

$$d \geq a$$

25 $g_v \geq a / \cos \phi$

$$g_p \geq a$$

$$L \geq D / \Delta \psi$$

(ただし、 a は、 $9 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi)$ および $3 f \cdot NA$ のうちいずれか大きい値とする)

- 5 2. 一様な光強度をもつ面光源と、該面光源から出射された複数の波長成分を有する光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、

前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに射出方向の異なる光束を射出することで前記光束を分光する、

- 10 表面に溝を有する回折格子と、

前記回折格子によって分光された各光束をそれぞれ集光する複数の集光レンズを有する光出射部とを備え、

- 前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの有効径を d とし、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの焦点距離を f とし、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの物理的外径を D とし、前記回折格子と前記各集光レンズとの間隔を L とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記面光源の半径を w_1 とし、前記面光源の開口数を NA とし、前記溝に対して垂直な方向に沿った前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿った前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の、前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta \psi$ (ラジアン) とした場合に、以下の式を満たす回折格子を用いた分光装置。

- 25 $d \geq 2 f \cdot NA$

$$f \geq 2 w_1 / \Delta \psi$$

$$g_v \geq 2 f \cdot NA / \cos \phi$$

$$g_p \geq 2 f \cdot NA$$

$$L \geq D / \Delta \psi$$

- 5 3. 複数の波長成分を含んでいてガウシアンビームで近似される光束を出射する入射側光導波路と、該入射側光導波路の出射側に設置され、前記入射側光導波路から出射された前記ガウシアンビームで近似される光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、
- 前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、
- 10 波長ごとに射出方向の異なる光束を射出することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、
- 前記回折格子によって分光された各光束を集光する、単一の集光レンズと、該集光レンズによって集光された各光束がそれぞれ伝搬する、複数の射出側光導波路とを有する光射出部とを備え、
- 15 前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの有効径を d とし、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの焦点距離を f とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記入射側光導波路の開口数を NA とし、隣接する前記射出側光導波路同士の間隔を s とし、前記溝に対して垂直な方向に沿った前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿った前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、前記波長 λ_1 および λ_2 の前記隣接入射光の平均波長を λ_0 とし、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の、前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta \psi$ (ラジアン)
- 25 とした場合に、以下の式を満たす回折格子を用いた分光装置。

$$d \geq a$$

$$g_v \geq a / \cos \phi$$

$$g_p \geq a$$

$$s = f \cdot \Delta \psi$$

(ただし、 a は、 $9 \lambda_0 / (\pi \Delta \psi)$ および $3 f \cdot NA$ のうちいずれ

5 か大きい値とする)

4. 一様な光強度をもつ面光源と、該面光源から出射される複数の波長成分を有する光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、

10 前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに射出方向の異なる光束を射出することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、

前記回折格子によって分光された各光束を集光する、単一の集光レンズと、該集光レンズによって集光された各光束がそれぞれ伝搬する、複

15 数の射出側光導波路とを有する光射出部とを備え、

前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの有効径を d とし、前記コリメートレンズおよび前記集光レンズの焦点距離を f とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記面光源の半径を w_1 とし、前記面光源の開口数を NA と

20 し、隣接する前記射出側光導波路同士の間隔を s とし、前記溝に対して垂直な方向に沿って前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿って前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の、前記回折格子による回折角の
25 角度差を $\Delta \psi$ (ラジアン) とした場合に、以下の式を満たす回折格子を用いた分光装置。

$$d \geq 2 f \cdot NA$$

$$f \geq 2 w_1 / \Delta \psi$$

$$g_v \geq 2 f \cdot NA / \cos \phi$$

$$g_p \geq 2 f \cdot NA$$

$$5 \quad s = f \cdot \Delta \psi$$

5. 複数の波長成分を含んでいてガウシアンビームで近似される光束を出射する入射側光導波路と、該入射側光導波路の出射側に設置され、前記入射側光導波路から出射された前記ガウシアンビームで近似される光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、
 10 前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに射出方向の異なる光束を射出することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、

前記回折格子によって分光された各光束をそれぞれ集光する、複数の
 15 集光レンズと該集光レンズから射出される光が入射する射出側光導波路とを有する光射出部とを備え、

前記コリメートレンズの有効径を d および前記集光レンズの有効径を d' とし、前記コリメートレンズの焦点距離を f および前記集光レンズの焦点距離を f' とし、前記コリメートレンズの物理的外径を D および
 20 前記集光レンズの物理的外径を D' とし、前記回折格子と前記各集光レンズとの間隔を L とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記入射側光導波路の開口数を NA および前記射出側導波路の開口数を NA' とし、前記溝に対して垂直な方向に沿った前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して
 25 平行な方向に沿った前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、

前記各波長 λ_1 および λ_2 の前記隣接入射光の平均波長を λ_0 とし、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の、前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ （ラジアン）とした場合に、以下の式を満たす回折格子を用いた分光装置。

$$5 \quad d \geq a$$

$$d' \geq a$$

$$g_v \geq a / \cos \phi$$

$$g_p \geq a$$

$$f' = f (NA / NA')$$

$$10 \quad L \geq D' / \Delta\psi$$

（ただし、 a は、 $9\lambda_0 / (\pi\Delta\psi)$ および $3f \cdot NA$ のうちいずれか大きい値とする）

6. 一様な光強度をもつ面光源と、該面光源から出射された複数の波長成分を有する光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、

前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに出射方向の異なる光束を出射することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、

- 20 前記回折格子によって分光された各光束をそれぞれ集光する複数の集光レンズと該集光レンズから出射される光が入射する出射側光導波路とを有する光出射部とを備え、

前記コリメートレンズの有効径を d および前記集光レンズの有効径を d' とし、前記コリメートレンズの焦点距離を f および前記集光レンズの焦点距離を f' とし、前記コリメートレンズの物理的外径を D および前記集光レンズの物理的外径を D' とし、前記回折格子と前記各集光レ

ンズとの間隔を L とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記面光源の半径を w_1 とし、前記面光源の開口数を NA および前記出射側導波路の開口数を NA' とし、前記溝に対して垂直な方向に沿った前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿った前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ （ラジアン）とした場合に、以下の式を満たす回折格子を用いた分光装置。

$$\begin{aligned}
 10 \quad & d \geq 2f \cdot NA \\
 & d' \geq 2f' \cdot NA' \\
 & f \geq 2w_1 / \Delta\psi \\
 & g_v \geq 2f \cdot NA / \cos\phi \\
 & g_p \geq 2f \cdot NA \\
 15 \quad & f' = f (NA / NA') \\
 & L \geq D' / \Delta\psi
 \end{aligned}$$

7. 複数の波長成分を含んでいてガウシアンビームで近似される光束を出射する入射側光導波路と、該入射側光導波路の出射側に設置され、前記入射側光導波路から出射された前記ガウシアンビームで近似される光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、

前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、波長ごとに出射方向の異なる光束を出射することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、

25 前記回折格子によって分光された各光束を集光する、単一の集光レンズと、該集光レンズによって集光された各光束がそれぞれ伝搬する、複

数の出射側光導波路とを有する光出射部とを備え、

- 前記コリメートレンズの有効径を d および前記集光レンズの有効径を d' とし、前記コリメートレンズの焦点距離を f および前記集光レンズの焦点距離を f' とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記入射側光導波路の開口数を NA および前記出射側導波路の開口数を NA' とし、隣接する前記出射側光導波路同士の間隔を s とし、前記溝に対して垂直な方向に沿った前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿った前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 とし、前記波長 λ_1 および λ_2 の前記隣接入射光の平均波長を λ_0 とし、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の、前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ (ラジアン) とした場合に、以下の式を満たす回折格子を用いた分光装置。

- $$d \geq a$$
- $$d' \geq a$$
- $$g_v \geq a / \cos \phi$$
- $$g_p \geq a$$
- $$f' = f (NA / NA')$$
- $$s = f' \cdot \Delta\psi$$
- (ただし、 a は、 $9\lambda_0 / (\pi \Delta\psi)$ および $3f \cdot NA$ のうちいずれか大きい値とする)

8. 一様な光強度をもつ面光源と、該面光源から出射される複数の波長成分を有する光束を、略平行光束に変換するコリメートレンズとを有する光入射部と、

前記コリメートレンズにより略平行光束に変換された光束が入射され、

波長ごとに出射方向の異なる光束を出射することで前記光束を分光する、表面に溝を有する回折格子と、

前記回折格子によって分光された各光束を集光する、単一の集光レンズと、該集光レンズによって集光された各光束がそれぞれ伝搬する、複

5 数の出射側光導波路とを有する光出射部とを備え、

前記コリメートレンズの有効径を d および前記集光レンズの有効径を d' とし、前記コリメートレンズの焦点距離を f および前記集光レンズの焦点距離を f' とし、前記光束が前記回折格子に入射する際の前記回折格子に対する前記光束の入射角を ϕ とし、前記面光源の半径を w_1 と

10 し、前記面光源の開口数を NA および前記出射側導波路の開口数を NA' とし、隣接する前記出射側光導波路同士の間隔を s とし、前記溝に対して垂直な方向に沿って前記回折格子の長さを g_v とし、前記溝に対して平行な方向に沿って前記回折格子の長さを g_p とし、前記回折格子に入射する光束の内、分離すべき隣接入射光の各波長を λ_1 および λ_2 と

15 し、前記波長 λ_1 および前記波長 λ_2 の光同士の、前記回折格子による回折角の角度差を $\Delta\psi$ (ラジアン) とした場合に、以下の式を満たす回折格子を用いた分光装置。

$$d \geq 2 f \cdot NA$$

$$d' \geq 2 f' \cdot NA'$$

20 $f \geq 2 w_1 / \Delta\psi$

$$f' = f (NA / NA')$$

$$g_v \geq 2 f \cdot NA / \cos \phi$$

$$g_p \geq 2 f \cdot NA$$

$$s = f' \cdot \Delta\psi$$

25

9. 前記回折格子の、光束が入射される面は、略矩形状または略楕円形

状である、請求の範囲 1 ～ 8 のいずれかに記載の回折格子を用いた分光装置。

10 10. 前記コリメートレンズおよび前記集光レンズは、半径方向に沿った屈折率分布を有するロッドレンズである、請求の範囲 1 ～ 8 のいずれかに記載の回折格子を用いた分光装置。

10 11. 前記回折格子は、互いに平行な凹凸溝を表面に有した基板であって、前記溝の垂直断面形状は、略矩形形状である、請求の範囲 1 ～ 8 のいずれかに記載の回折格子を用いた分光装置。

12. 前記回折格子は、互いに平行な凹凸溝を表面に有する 2 次元フォトリソグラフィ結晶であって、前記溝の垂直断面形状は、略矩形形状である、請求の範囲 1 ～ 8 のいずれかに記載の回折格子を用いた分光装置。

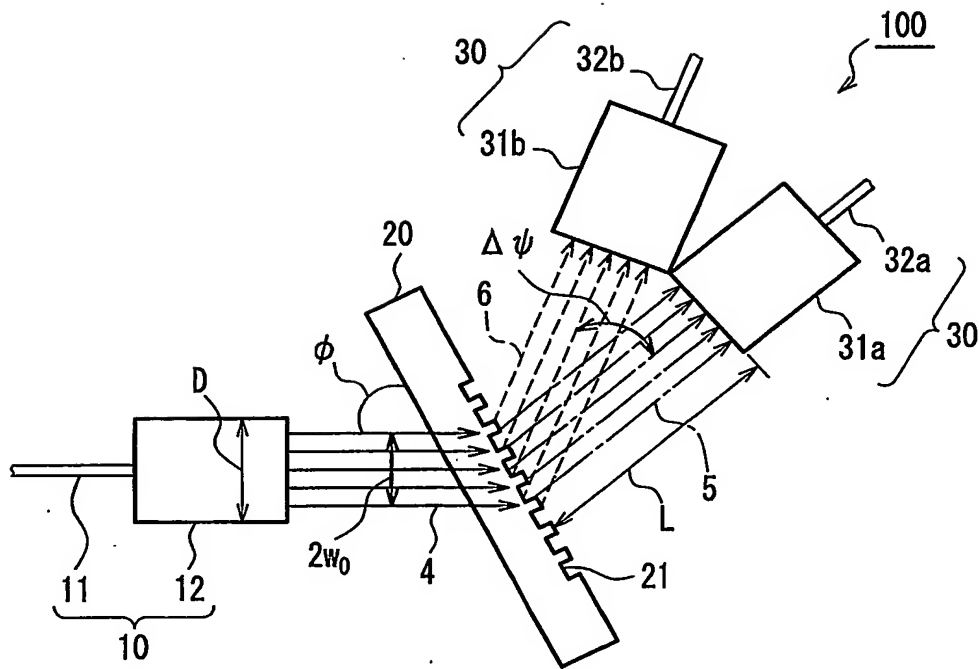


FIG. 1

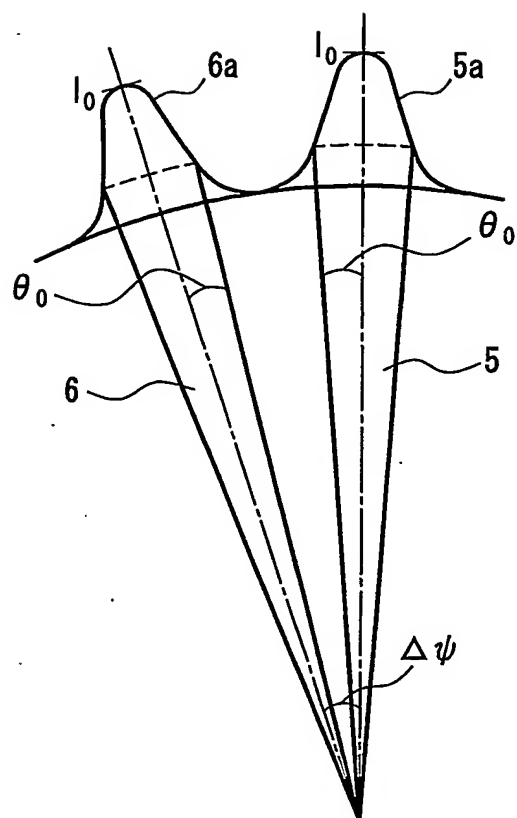


FIG. 2

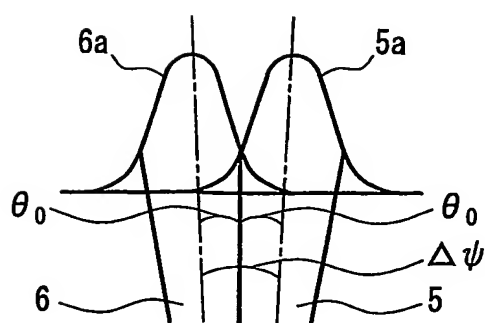


FIG. 3

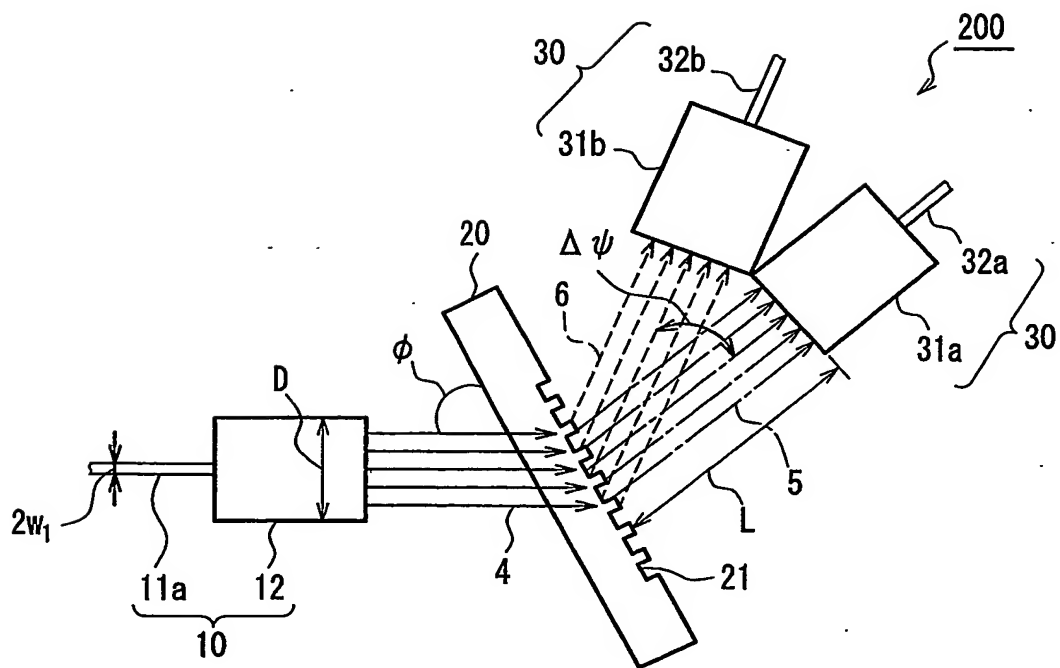


FIG. 4

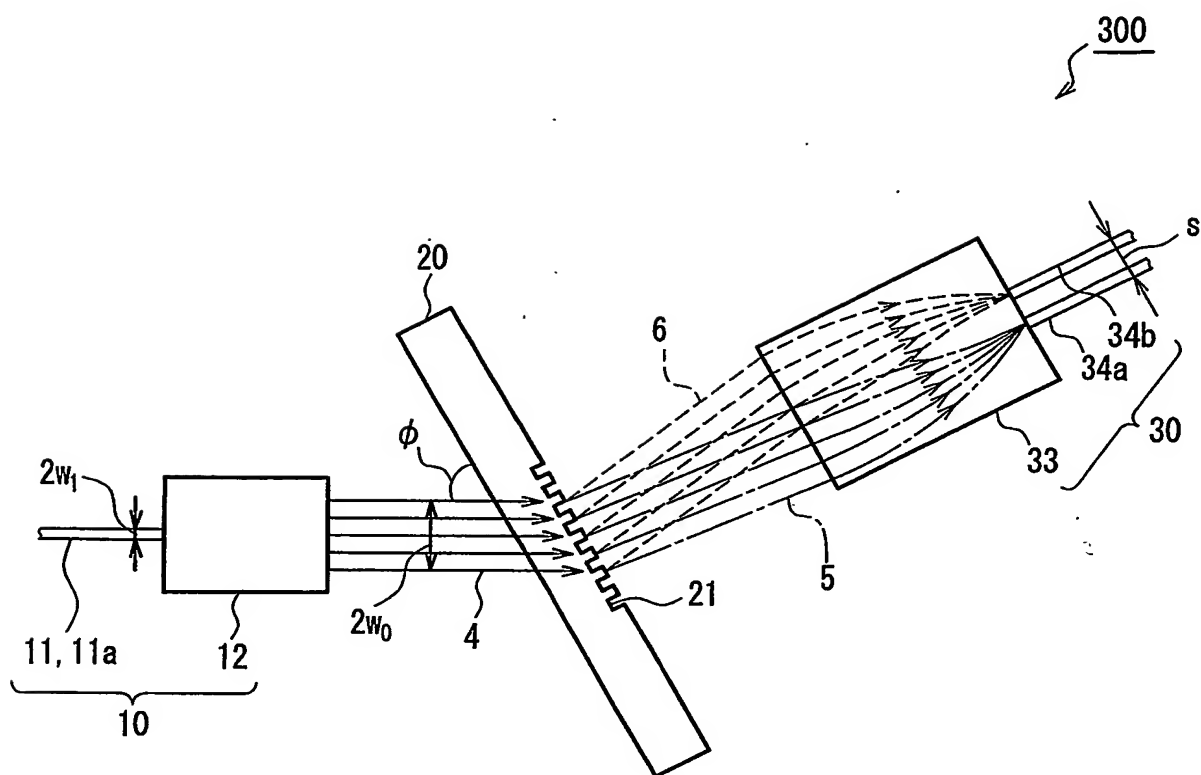


FIG. 5

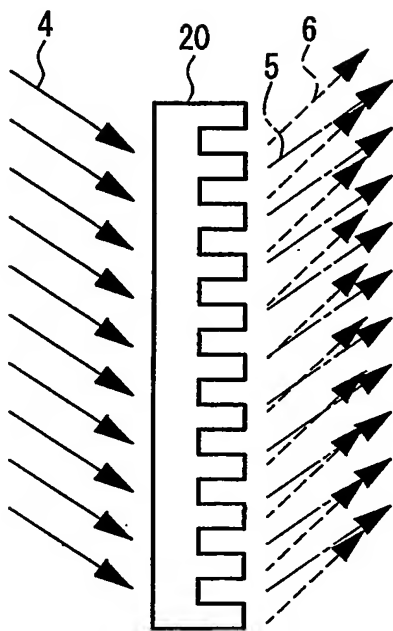


FIG. 6A

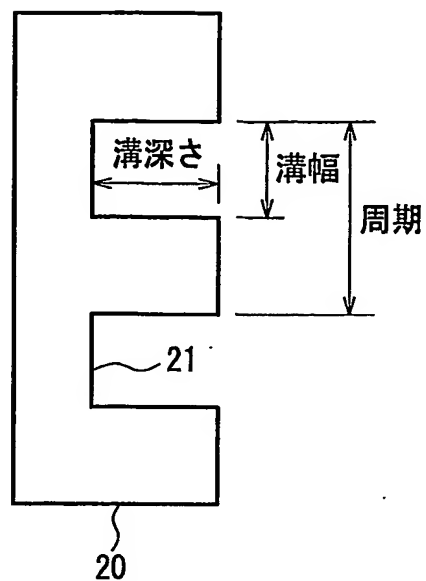


FIG. 6B

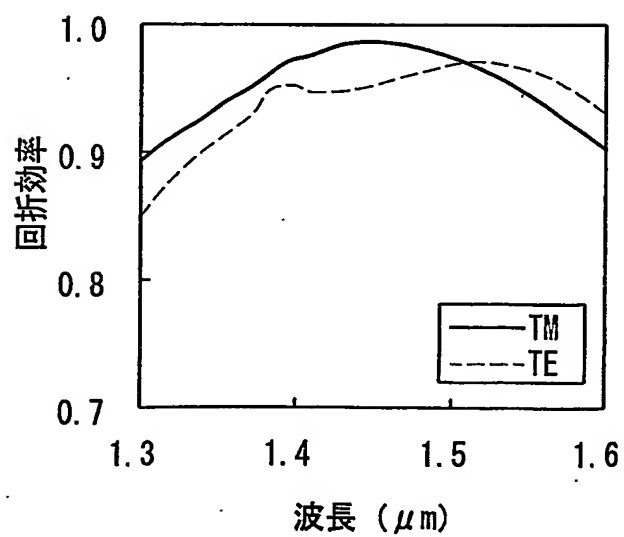


FIG. 7

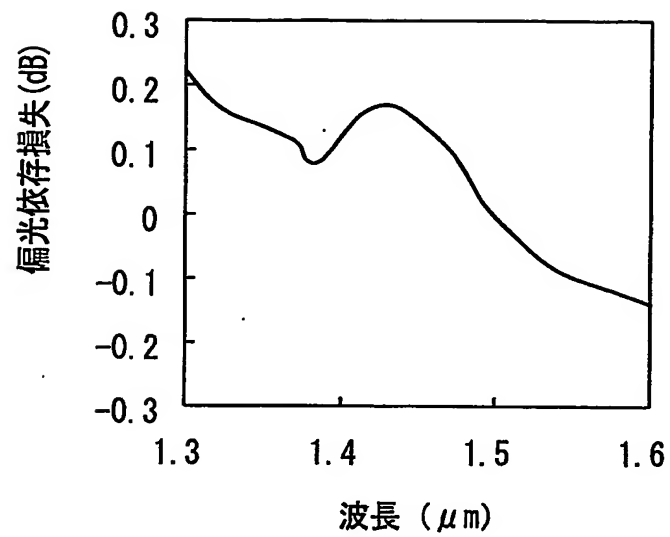


FIG. 8

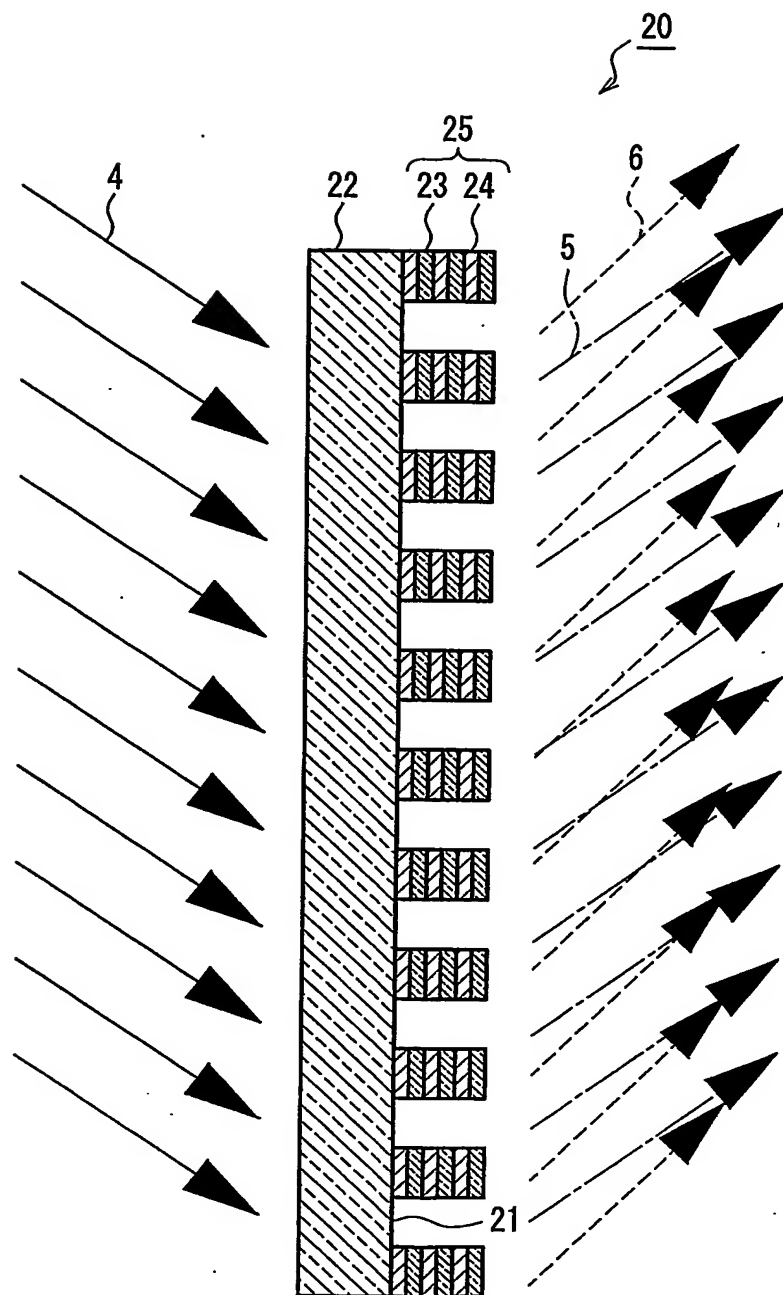


FIG. 9

FIG. 10A

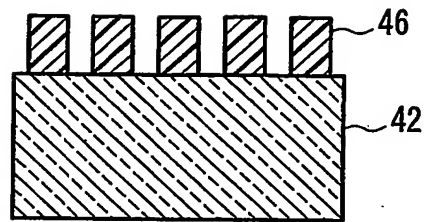


FIG. 10B

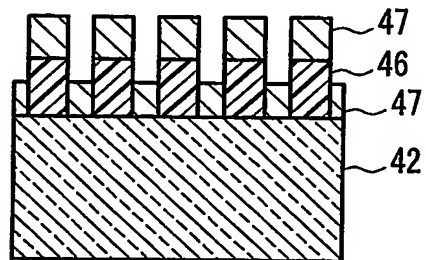


FIG. 10C

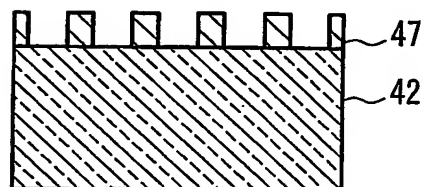
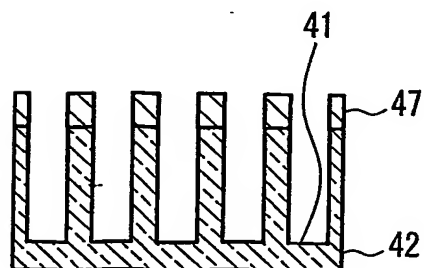


FIG. 10D



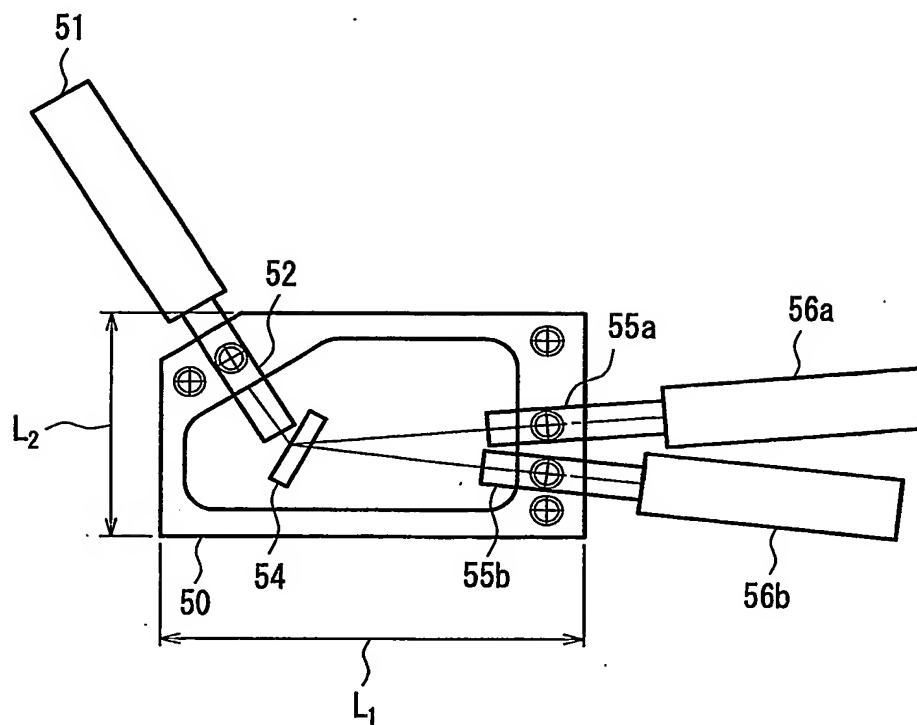


FIG. 11

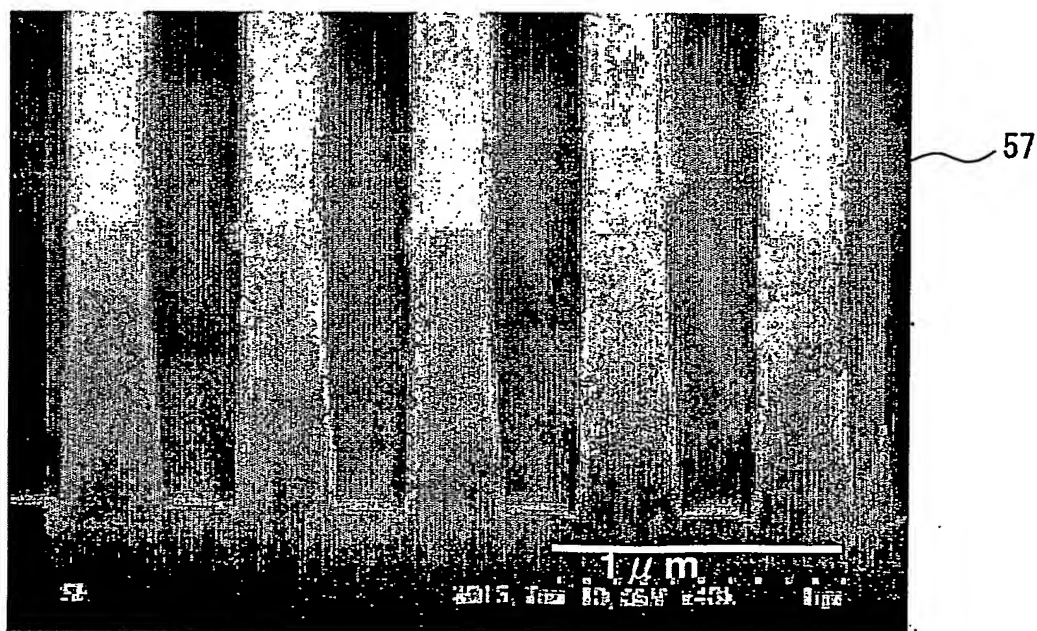


FIG. 12

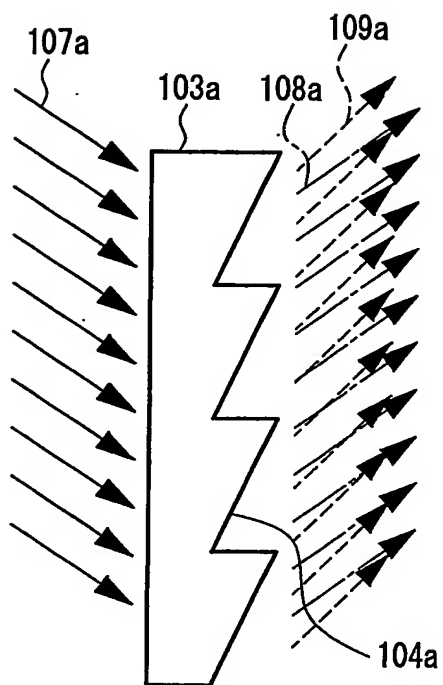


FIG. 13A

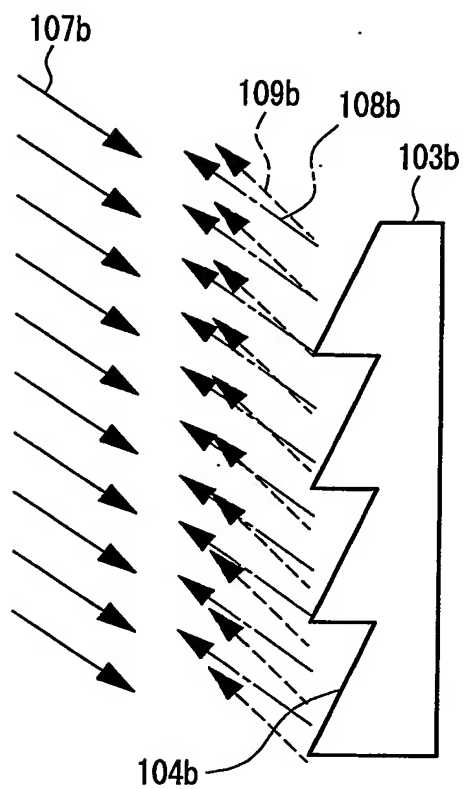


FIG. 13B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/12048

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B27/42, G02B6/28, G02B5/18, G01J3/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B27/42, G02B6/28, G02B5/18, G01J3/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 56-26706 U (Mitsubishi Electric Corp.), 12 March, 1981 (12.03.81), Full text (Family: none)	1-12
X	JP 60-230608 A (Shimadzu Corp.), 16 November, 1985 (16.11.85), Full text (Family: none)	1-2, 5-6, 9-12
X	JP 1-281411 A (Ricoh Co., Ltd.), 13 November, 1989 (13.11.89), Full text (Family: none)	3-4, 7-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 November, 2003 (18.11.03)Date of mailing of the international search report
02 December, 2003 (02.12.03)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B27/42, G02B6/28, G02B5/18, G01J3/18

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B27/42, G02B6/28, G02B5/18, G01J3/18

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-2003年

日本国登録実用新案公報 1994-2003年

日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 56-26706 U(三菱電機株式会社)1981.03.12 全文 (ファミリーなし)	1-12
X	JP 60-230608 A(株式会社島津製作所)1985.11.16 全文 (ファミリーなし)	1-2, 5-6, 9-12
X	JP 1-281411 A(株式会社リコー)1989.11.13 全文 (ファミリーなし)	3-4, 7-12

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18.11.03

国際調査報告の発送日

02.12.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

植田 高盛

2X

2912

電話番号 03-3581-1101 内線 3293

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/12048

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B27/42, G02B6/28, G02B5/18, G01J3/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B27/42, G02B6/28, G02B5/18, G01J3/18

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 56-26706 U (Mitsubishi Electric Corp.), 12 March, 1981 (12.03.81), Full text (Family: none)	1-12
X	JP 60-230608 A (Shimadzu Corp.), 16 November, 1985 (16.11.85), Full text (Family: none)	1-2, 5-6, 9-12
X	JP 1-281411 A (Ricoh Co., Ltd.), 13 November, 1989 (13.11.89), Full text (Family: none)	3-4, 7-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"J" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
18 November, 2003 (18.11.03)Date of mailing of the international search report
02 December, 2003 (02.12.03)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.